

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. 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»**

Москва 2024

Разработчики программы:

– руководитель магистерской программы «Современные процессы, аппараты и технологии химических производств» – зав. кафедрой химического и фармацевтического инжиниринга, д.т.н., профессор
Меньшутина Н.В.

– профессор кафедры химического и фармацевтического инжиниринга, д.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, утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 6 апреля 2021 года № 245.

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, 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); «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);

5. «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

Тема 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.

Тема 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.

Тема 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 фильтрации. Виды фильтровальных перегородок. Фильтры объемного и поверхностного

действия.

Тема 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.

Тема 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

Тема 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. Определение боденштейновских и небоденштейновских веществ. Расчет их концентраций для различного времени протекания реакции. Степень использования внутренней поверхности. Пути интенсификации каталитических процессов.

Тема 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.

Тема 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.

Тема 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. Эффективность использования материальных ресурсов. Принципы создания безотходных, энерго-и ресурсосберегающих технологий.

Классификация методов оптимизации ХТС. Основные этапы оптимизации ХТС. Общий анализ задачи оптимизации. Общая методика оптимизационных процедур. Определение критерия оптимизации. Необходимые и достаточные условия оптимальности решения.

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

Тема 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).

Тема 2. Принципы построения математических моделей и этапы математического моделирования

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.

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 однооткликовых и многооткликовых моделей.

г) Коррекция модели по результатам накопленной информации.

Примеры.

Тема 3. Задачи управления химико-технологическими процессами

Постановка задачи управления химико-технологическим процессом. Классификация систем управления ХТП. Понятие регулируемой переменной, управляющего и возмущающего воздействия. Система автоматического регулирования (САР). Этапы анализа и синтеза САР.

Задачи оптимизации и методы их решения:

а) Геометрическое программирование, вывод общих соотношений.

Общая схема решения задач методом геометрического программирования.

б) Метод искусственного базиса. Оптимальная организация производства продукции при ограниченных запасах сырья.

в) Нелинейное программирование. Общая характеристика, постановка задачи нелинейного программирования. Методы нулевого порядка, методы первого порядка (метод крутого восхождения, эффект оврагов), методы второго порядка (метод Ньютона, метод Ньютона-Рафсона). Раздел 4.

Нейросетевое моделирование

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

Тема 4. 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.

Тема 5. 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.

Тема 6. 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. Проблемы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии, нефтехимии, биотехнологии: энергоёмкость существующих технологических процессов в химической и нефтехимической технологии, биотехнологии; пути энерго- и ресурсосбережения на различных иерархических уровнях.

Вторичные энергоресурсы (ВЭР). Возобновляемая энергия. Виды вторичных энергоресурсов: топливные, тепловые, избыточного давления. Рекуперации вторичных энергоресурсов (ВЭР), комплексная утилизация теплота.

Интенсификация работы химических реакторов на основе принципов совмещения химических и тепло- и массообменных процессов, как в реакторном узле, так и в отдельном химическом реакторе. Перспективные источники сырья и энергии. Кластеризация химической промышленности. Совмещенные процессы. Гибкие и перестраиваемые технологические схемы.

3. Вопросы для подготовки к вступительному испытанию 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. Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

1. Проблемы энерго-и ресурсосбережения в химической технологии, нефтехимии, биотехнологии: энергоемкость существующих технологических процессов в химической и нефтехимической технологии, биотехнологии; пути энерго-и ресурсосбережения на различных иерархических уровнях.

2. Вторичные энергоресурсы (ВЭР). Возобновляемая энергия. Виды вторичных энергоресурсов: топливные, тепловые, избыточного давления. Рекуперации вторичных энергоресурсов (ВЭР), комплексная утилизация теплота.

3. Основные направления энерго-и ресурсосбережения в химической промышленности. Эффективность использования материальных ресурсов. Принципы создания безотходных, энерго-и ресурсосберегающих технологий.

4. Интенсификация работы химических реакторов на основе принципов совмещения химических и тепло- и массообменных процессов, как в реакторном узле, так и в отдельном химическом реакторе.

5. Характеристики и режимы течения жидкости по трубопроводу. Профили скоростей при различных режимах. Теплоотдача и теплопередача: математическое описание, физический смысл коэффициентов, температурный градиент.

6. Расчет средней движущей силы массопередачи. Гидродинамические режимы в насадочных колоннах.

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

8. Термодинамические закономерности химических процессов.

зависимость константы равновесия и равновесной степени превращения от температуры для экзо- и эндотермических реакций.

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

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

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

12. Уравнения, отражающие основные законы сохранения массы, импульса, энергии. Дифференциальная и интегральная запись законов сохранения. Постановка начального и граничных условий.

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

14. Нестационарная, квазистационарная и стационарная области протекания химических реакций. Определение боденштейновских и небоденштейновских веществ. Расчет их концентраций для различного времени протекания реакции.

Блок 2. Современные процессы, аппараты и технологии химических производств

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

2. Текущее состояние химической промышленности в мире и тенденции ее развития. Перспективные источники сырья и энергии. Кластеризация химической промышленности. Совмещенные процессы. Гибкие и перестраиваемые технологические схемы.

3. Химические реакторы, их конструкции и режимы эксплуатации. Новые типы химических реакторов, перспективы их использования в различных отраслях промышленности.

4. Анализ химико-технологической системы (ХТС). Материальные и тепловые балансы как основа расчета ХТС. Общие правила составления балансов. Формы представления балансов. Классификация методов оптимизации ХТС. Основные этапы оптимизации ХТС. Общий анализ задачи оптимизации. Общая методика оптимизационных процедур. Определение критерия оптимизации. Необходимые и достаточные условия оптимальности решения.

5. Определение математической модели. Взаимосвязь математических и физических моделей. Приближенный характер математических моделей. Допущения, принимаемые при построении математической модели. Классификация математических моделей по

временному и пространственному признакам.

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

7. 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.

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

9. Постановка задачи управления химико-технологическим процессом. Регулируемая переменная. Управляющие и возмущающие воздействия. Система автоматического регулирования (САР).

10. Классификация систем управления ХТП. По виду математического описания, по принципу регулирования, по функциональному назначению, по числу контуров управления: одноконтурные и многоконтурные, по числу управляемых переменных и управляющих воздействий.

11. Этапы анализа и синтеза САР: анализ ХТП как объекта управления, синтез структуры СУ ХТП, выбор закона регулирования.

12. Геометрическое программирование, вывод общих соотношений. Общая схема решения задач методом геометрического программирования.

13. Метод искусственного базиса. Оптимальная организация производства продукции при ограниченных запасах сырья.

14. Нелинейное программирование. Общая характеристика, постановка задачи нелинейного программирования. Методы нулевого порядка, методы первого порядка (метод крутого восхождения, эффект оврагов), методы второго порядка (метод Ньютона, метод Ньютона-Рафсона).

4. Рекомендуемая литература

По блоку 1. Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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. Современные процессы, аппараты и технологии химических производств

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: 11.02.2024 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: 12.02.2024).

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 11.02.2024).

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.