

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*

***«Цифровые технологии для химико-фармацевтических и  
биофармацевтических производств»***

Москва 2026

Разработчики программы:

– руководитель магистерской программы «Цифровые технологии для химико-фармацевтических и биофармацевтических производств» – зав. кафедрой химического и фармацевтического инжиниринга, д.т.н., профессор Меньшутина Н.В.

– доцент кафедры химического и фармацевтического инжиниринга, к.т.н., доцент Гусева Е.В.

## 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 «Цифровые технологии для химико-фармацевтических и биофармацевтических производств».

Программа разработана в соответствии с Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года № 245 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры».

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);

7. «Наноинженерия в фармацевтических технологиях», относящейся к вариативной части блока «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Наноинженерия» (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. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов и информационные системы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

Блок 2. Процессы и аппараты в химической и фармацевтической технологиях.

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

### **2.1. Блок 1. Процессы и аппараты в химической и фармацевтической технологиях**

#### **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 фильтрации. 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. Степень использования внутренней поверхности. Пути интенсификации каталитических процессов.

## **Раздел 2. 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 3. 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.

### 2.1.3. Процессы и аппараты в фармацевтических технологиях

#### **Раздел 1. Технологии и оборудования, используемые на фармацевтическом производстве**

Определение лекарственного средства. Классификация лекарственных средств по происхождению, силе фармакологической активности. Понятие дозы лекарственного средства. Классификация доз. Определение лекарственной формы. Классификация лекарственных форм по агрегатному состоянию, в зависимости от пути введения. Дисперсологическая классификация лекарственных форм.

Порошки как лекарственная форма. Технологии и оборудование для производства порошков. Лекарственная форма таблетки. Классификация, основные требования, предъявляемые к таблеткам. Стадии производства таблеток. Классификация вспомогательных веществ, используемых при производстве таблеток. Основные стадии процессов сухого и влажного гранулирования. Механизмы влажной грануляции. Оборудование для гранулирования – грануляторы, сравнение их типов. Общие принципы совмещенных процессов. Преимущества и недостатки совмещенных процессов. Определение и способы таблетирования. Стадии прессования порошкообразных материалов. Классификация и принцип действия таблеточных машин. Нанесение пленочных покрытий на таблетки и pellets. Методы и оборудование для нанесения покрытий. Принцип действия. Дефекты покрытия и причины их возникновения. Лекарственная форма капсулы. Определение и классификация. Основные требования, предъявляемые к капсулам. Материалы, применяемые для изготовления оболочки капсулы. Стадии получения твердых капсул. Процесс сушки в химико-фармацевтической и биофармацевтической отрасли. Стадии сушки. Критерии для выбора способа сушки. Вакуумная тепловая сушка. Вакуумно-сублимационная сушка. Распылительная сушка.

Лекарственная форма мази. Классификация мазей по составу, консистенции, назначению, области применения, характеру действия, типу мазевых основ, типу дисперсных систем. Основные требования, предъявляемые к мазям. Классификация мазевых основ. Стадии технологического процесса производства мазей и применяемое оборудование. Лекарственная форма экстракты. Классификация и основные требования к экстрактам. Методы получения жидких экстрактов: перколяция, реперколяция, реперколяция с делением сырья, дробная мацерация. Принципы методов и применяемое оборудование. Способы приготовления эмульсий и суспензий.

Лекарственная форма аэрозоли. Классификация по типу получаемой дисперсной системы, способу введения, виду аэрозольной системы и основные требования к аэрозолям. Требования к пропеллентам. Методы наполнения аэрозольных баллонов. Стадии производства аэрозольных

лекарственных форм. Лекарственная форма спреи. Определение и классификация по механизму распыления и месту нанесения. Стадии производства спреев. Ингаляционные способы введения лекарственных веществ: небулайзеры, индивидуальные дозированные аэрозольные ингаляторы.

**Раздел 2. Воды и воздуха подготовка на фармацевтическом производстве** Требования к качеству воды и воздуха на фармацевтических предприятиях. Оборудование для очистки воздуха. Технологии и оборудование, используемые при водоподготовке.

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

### **2.2.1. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов и информационные системы 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). Определение и классификация нейросетевых моделей. Этапы разработки нейросетевых моделей. Алгоритмы обучения.

## **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.

#### **2.2.2. Информационные системы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

##### **Раздел 1. Системный анализ химических процессов**

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 2. Информационные системы, модели представления данных, базы данных**

Определение и классификация баз данных. Технологии и этапы проектирования баз данных. Методы представления данных (иерархические, сетевые, реляционные, постреляционные). Компьютерные средства для построения баз данных. Алгоритмы поиска информации в них. Основные математические методы обработки массивов данных, характеристика и область применения каждого метода. Системы управления базами данных: основные функции, архитектура. Системы управления базами данных: основные функции, архитектура. Системы визуализации данных.

Постановка задачи управления химико-технологическим процессом. Регулируемая переменная. Управляющие и возмущающие воздействия. Система автоматического регулирования (САР). Системы управления лабораторной информацией, ЛИМС (Laboratory Information Management System – LIMS). Для решения каких задач используется. Фазы жизненного цикла ЛИМС в соответствии с ГОСТ Р 53798-2010 Стандартное руководство по лабораторным информационным менеджмент-системам (ЛИМС).

Концептуальная модель ЛИМС. Методы контроля и управления химико-фармацевтическими и биофармацевтическими производствами. ERP и SCADA системы. Основные принципы и задачи технологии анализа процессов (Process Analytical Technology, PAT). Методы on- и in-line мониторинга процессов.

Статистические методы обработки медицинских данных. Понятия параметрических и непараметрических критериев. Проверка статистических гипотез. Метод дисперсионного анализа. Виды моделей. Сумма квадратов типа I, II, III и IV. Критерии. Метод контрастов.

Поиск количественных соотношений структура-свойство (Quantitative Structure-Activity Relationship, QSAR). Понятия дескриптора. Виды молекулярных дескрипторов. Методы построения моделей структура-свойство и их краткая характеристика. Понятие внутри- и межиндивидуальной изменчивости в популяции. Понятие корреляции и ковариации. Коэффициент линейной корреляции, множественной корреляции.

### **Раздел 3. 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.

### **3. Вопросы к вступительным испытаниям по магистерской программе «Цифровые технологии для химико-фармацевтических и биофармацевтических 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 «Цифровые технологии для химико-фармацевтических и биофармацевтических производств» (в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (ФГОС ВО)) по двум блокам:

Блок 1. Основные процессы и оборудование химико-фармацевтических и биофармацевтических производств

Блок 2. Цифровые технологии для химико-фармацевтических и биофармацевтических производств

### **Блок 1. Основные процессы и оборудование химико-фармацевтических и биофармацевтических производств**

1. Определение лекарственного средства. Классификация лекарственных средств по происхождению, силе фармакологической активности. Понятие дозы лекарственного средства. Классификация доз.

2. Определение лекарственной формы. Классификация лекарственных форм по агрегатному состоянию, в зависимости от пути введения. Дисперсологическая классификация лекарственных форм.

3. Лекарственная форма порошки. Классификация, основные требования, предъявляемые к порошкам. Методы получения порошков и основное оборудование.

4. Лекарственная форма таблетки. Классификация, основные требования, предъявляемые к таблеткам. Стадии производства таблеток. Классификация вспомогательных веществ, используемых при производстве таблеток.

5. Сухая и влажная грануляция. Механизмы формирования гранул. Основное оборудование и принцип его работы.

6. Определение и способы таблетирования. Стадии прессования порошкообразных материалов. Классификация и принцип действия таблеточных машин.

7. Лекарственная форма драже. Стадии дражирования. Принцип работы дражировочного котла. Пеллеты. Методы получения пеллет. Основное оборудование для производства пеллет и принцип его действия.

8. Нанесение пленочных покрытий на таблетки и пеллеты. Методы и оборудование для нанесения покрытий. Принцип действия. Дефекты покрытия и причины их возникновения.

9. Лекарственная форма капсулы. Определение и классификация. Основные требования, предъявляемые к капсулам. Материалы, применяемые для изготовления оболочки капсулы. Стадии получения твердых капсул.

10. Процесс сушки в химико-фармацевтической и биофармацевтической отрасли. Стадии сушки. Критерии для выбора способа сушки. Вакуумная тепловая сушка. Вакуумно-сублимационная сушка. Распылительная сушка.

11. Лекарственная форма мази. Классификация мазей по составу, консистенции, назначению, области применения, характеру действия, типу мазевых основ, типу дисперсных систем. Основные требования, предъявляемые к мазям. Классификация мазевых основ.

12. Стадии производства мазей. Основное оборудование для каждой стадии и принцип действия.

13. Лекарственная форма экстракты. Классификация и основные

требования к экстрактам. Методы получения жидких экстрактов: перколяция, реперколяция, реперколяция с делением сырья, дробная мацерация. Принципы методов и применяемое оборудование.

14. Лекарственная форма аэрозоли. Классификация по типу получаемой дисперсной системы, способу введения, виду аэрозольной системы и основные требования к аэрозолям. Требования к пропеллентам. Методы наполнения аэрозольных баллонов.

15. Лекарственная форма спреи. Определение и классификация по механизму распыления и месту нанесения. Стадии производства спреев. Ингаляционные способы введения лекарственных веществ: небулайзеры, индивидуальные дозированные аэрозольные ингаляторы.

## **Блок 2. Цифровые технологии для химико-фармацевтических и биофармацевтических производств**

1. 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.

2. 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.

3. 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.

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

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

6. Системы управления лабораторной информацией, ЛИМС (Laboratory Information Management System – LIMS). Для решения каких задач используется. Фазы жизненного цикла ЛИМС в соответствии с ГОСТ Р 53798-2010 Стандартное руководство по лабораторным информационным менеджмент-системам (ЛИМС). Концептуальная модель ЛИМС.

7. Методы контроля и управления химико-фармацевтическими и биофармацевтическими производствами. ERP и SCADA системы.

8. Основные принципы и задачи технологии анализа процессов (Process Analytical Technology, PAT). Методы on- и in-line мониторинга процессов.

9. Определение и классификация нейросетевых моделей. Этапы

разработки нейросетевых моделей. Алгоритмы обучения.

10. Большие массивы данных. Определение. Подготовка и визуализация данных. Методы обработки данных.

11. Статистические методы обработки медицинских данных. Понятия параметрических и непараметрических критериев. Проверка статистических гипотез.

12. Метод дисперсионного анализа. Виды моделей. Сумма квадратов типа I, II, III и IV. Критерии. Метод контрастов.

13. Поиск количественных соотношений структура-свойство (Quantitative Structure-Activity Relationship, QSAR). Понятия дескриптора. Виды молекулярных дескрипторов. Методы построения моделей структура-свойство и их краткая характеристика.

14. Понятие внутри- и межиндивидуальной изменчивости в популяции. Понятие корреляции и ковариации. Коэффициент линейной корреляции, множественной корреляции.

15. Пакеты ASPEN как пример коммерческих пакетов для проектирования химико-технологических, фармацевтических, нефтеперерабатывающих производств, решения задач моделирования течения жидкостей и газов, межфазных взаимодействий и теплообменом методами вычислительной гидродинамики.

#### 4. Рекомендуемая литература

**По блоку 1. Основные процессы и оборудование химико-фармацевтических и биофармацевтических производств**

**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.

4. Меньшутина Н.В., Мишина Ю.В., Алвес С.В. Инновационные технологии и оборудование фармацевтического производства. – Т.1. – М.: Издательство БИНОМ, 2012- 328 с. Меньшутина Н.В., Мишина Ю.В., Алвес С.В., Гордиенко М.Г., Гусева Е.В., Троянкин А.Ю. Инновационные технологии и оборудование фармацевтического производства. – Т.2. – М.: Издательство БИНОМ, 2013- 480 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 и информационные системы 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.

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. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.

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.

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.