

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»  
Химико-технологический институт



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
А.В. Германенко  
\_\_\_\_\_ 2022 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Процессы и аппараты химической технологии

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
<b>Программа аспирантуры</b> <i>Процессы и аппараты химической технологии</i>	Код ПА 2.6.13.
<b>Группа специальностей</b> <i>Химические технологии, науки о материалах, металлургия</i>	Код 2.6.
<b>Федеральные государственные требования (ФГТ)</b>	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 г. № 951
<b>Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)</b>	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» от 31.03.2022 №315/03

Екатеринбург  
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение	Подпись
1	Хомяков Анатолий Павлович	Д.т.н., с.н.с	Заведующий кафедрой	Кафедра машин и аппаратов химических производств	

**Рекомендовано учебно-методическим советом Химико-технологического института**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № \_\_6\_\_ от \_\_30.05.2022\_\_ г.



[А.Б.Даринцева]

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК



[Е.А. Бутрина]

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии» (ПАХТ) относится к базовой части программы аспирантуры.

Цель дисциплины: получение аспирантами знаний по процессам и аппаратам химической технологии.

Изучение дисциплины предполагает выполнение следующих задач:

- приобретение необходимых знаний по основным технологическим процессам и оборудованию для определения круга задач в рамках поставленной цели и выбора оптимальных способов их решения, исходя из имеющихся ресурсов и ограничений;

- овладение методами расчета материального и теплового балансов основных химико-технологических процессов;

- формирование навыков выполнения расчета основных агрегатов, проведения конструкторско-технологического анализа оборудования.

## 1.2. Язык реализации дисциплины – русский.

## 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

### Знать:

– основные закономерности гидромеханических, тепло- и массообменных процессов и принципы их моделирования;

– основы расчетов аппаратов для осуществления этих процессов, теорию физического моделирования процессов химической технологии;

– аппаратурное оформление тепловых процессов (нагревание, охлаждение, конденсация, выпаривание) и массообменных процессов (абсорбция, перегонка и ректификация, экстракция, адсорбция, сушка, ионный обмен, растворение и кристаллизация, мембранные процессы химической технологии);

### Уметь:

– определять гидродинамические параметры движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи;

– анализировать технологические процессы и режимы работы действующих производств;

– рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химикотехнологического процесса, проводить конструкторско-технологический анализ оборудования с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду;

- научно решать проблемы создания процессов и аппаратов, разработки технологических схем, формирующих предпосылки эффективного управления и автоматизации;

### Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):

– способностью разрабатывать физические и математические модели объектов при разработке и совершенствовании машин и аппаратов, технологических схем;

– способностью осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию информации по теме исследования, выбор методов и средств решения задач исследования;

– способностью использовать знания теоретических и экспериментальных методов научных исследований, принципов организации научно-исследовательской деятельности;

– способностью использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах в области технологического оборудования;

- способностью интерпретировать результаты с целью составления практических рекомендаций по перспективному использованию данных научных исследований.

## 1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины в 6 семестре (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	

1.	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>4</b>		<b>4</b>
2.	Лекции	4	4	4
3.	<b>Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации</b>	<b>104</b>	<b>1</b>	<b>104</b>
4.	<b>Промежуточная аттестация</b>	104	<b>1</b>	э
5.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	108		108
6.	<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>	3		3

\*Контактная работа составляет:

в п/п 2,3, - количество часов, равное объему соответствующего вида занятий;

в п.4 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Системный анализ процессов химической технологии	Основные принципы системного анализа; взаимосвязь явлений в отдельных процессах и аппаратах; иерархия явлений и их соподчиненность в изучении процессов и аппаратов; иерархическая структура химического производства; взаимовлияние аппаратов. Математическое моделирование как современный метод анализа и синтеза химико-технологических процессов и химико-технологических систем. Сущность и цели математического моделирования объектов химической технологии, формы представления информации о процессе (управления, регрессии, дифференциальные уравнения, интегральные уравнения, конечные и конечно-разностные уравнения). Постановка задачи математического описания процесса. Два подхода к составлению математической модели процесса: детерминированный и стохастический. Их возможности и сферы использования. Теория подобия и анализ размерностей. Подобные преобразования, физическое моделирование, метода характеристических масштабов. Основы теории переноса количества движения, энергии, массы
P2	Гидравлика	Гидростатика и гидродинамика: основные закономерности покоящегося состояния и движения жидкостей, гидродинамическая структура потоков, сжатие и транспортирование газов, разделения неоднородных систем. Внутренняя и внешняя задачи гидродинамики. Уравнения и граничные условия гидродинамики. Ламинарное и турбулентное течение в трубах различной формы. Продольное обтекание плоской пластины. Пограничный слой. Перемешивание в жидких средах. Движение частиц, капель, пузырей в жидкости. Общее решение уравнений Стокса в осесимметричном случае. Обтекание сферической частицы, капли и пузыря поступательным стоксовым потоком. Сферические частицы в поступательном потоке при умеренных и больших числах Рейнольдса. Сферические капли и пузыри в поступательном потоке при умеренных и больших числах Рейнольдса. Обтекание сферической частицы, капли и пузыря сдвиговым потоком. Обтекание несферических твердых частиц. Обтекание цилиндра (плоская задача). Обтекание деформированных

		капель и пузырей. Стесненное движение частиц. Течение, вызванное вращением диска. Гидродинамика тонких стекающих пленок. Струйные течения.
P3	Химическая термодинамика	Система. Состояние системы. Уравнения состояния. Энергия. Работа. Теплота. Нулевой и первый законы термодинамики. Основные законы термохимии. О равновесных и обратимых процессах. Второй и третий законы термодинамики. Линейная термодинамика в задачах химии и химической технологии. Уравнения сохранения. Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды. Соотношение взаимности Онсагера. Потоки массы и тепла в сплошной фазе. Массоперенос в химико-технологических системах с учетом наличия межфазных поверхностей. Вариационный принцип минимума производства энтропии. Принцип минимума приведенных термодинамических потоков. Определение средней толщины пленки в дисперсно-кольцевых режимах течения. Неравновесная термодинамика необратимых процессов в химической технологии. Термодинамическая функция Ляпунова вдали от равновесия. Метод термодинамических функций Ляпунова для выявления химических осцилляторов. Современное состояние проблемы колебательных реакций в химии. Эксергия, эксергетический метод анализа химико-технологических систем информационно-термодинамический принцип; использование методов оптимизации при создании энерго- и ресурсосберегающих производств (прямые, декомпозиционные, структурно-декомпозиционные методы).
P4	<b>Основные процессы и аппараты химической технологии</b>	
P4.1	Тепловые процессы и аппараты	Уравнение и граничные условия теории конвективного теплопереноса. Теплоперенос к плоской пластине. Теплоперенос при ламинарном течении в круглой трубе. Теплоперенос при ламинарном течении в плоской трубе. Предельные числа Нуссельта при ламинарном течении жидкостей по трубам различной формы. Теплообмен частиц, капель и пузырей с потоком. Метод асимптотических аналогий в теории теплопереноса. Внутренние задачи о теплообмене тел различной формы. Теплообмен частиц различной формы с неподвижной средой. Основные уравнения процессов теплообмена. Классификация используемых аппаратов. Теплообменники с передачей тепла через стенку. Кипятильники. Основные переменные процесса. Объекты с сосредоточенными и распределенными параметрами. Примеры. Теплообменники смешивания. Теплообменники с идеальной изоляцией, теплообменники с потерями тепла через стенку. Математические модели кожухотрубных теплообменников. Выпарные аппараты. Основные уравнения. Математическая модель однокорпусной и трехкорпусной установки. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между поверхностями твердых тел, между газом и твердой поверхностью.
P4.2	Массообменные процессы и аппараты	Уравнение и граничные условия теории конвективного массопереноса. Математическое описание равновесия в многокомпонентных системах. Термодинамика равновесных и неравновесных состояний. Математическое описание процессов диффузии. Однофазная неподвижная среда. Стационарная диффузия в движущихся средах. Диффузия в многокомпонентных системах. Диффузионный потенциал. Массопередача в диффузионных процессах. Массоперенос в поступательном потоке при малых числах Пекле. Массоперенос в линейном сдвиговом потоке при малых числах Пекле. Массообмен частиц и капель с потоком при больших числах Пекле (теория диффузионного пограничного слоя). Диффузия к сферической частице, капле и пузырю в поступательном потоке при различных числах Пекле и Рейнольдса. Диффузия к сфериче-

		<p>ской частице, капле и пузырю в линейном сдвиговом потоке при малых числах Рейнольдса и любых числах Пекле. Диффузия к сфере в поступательно-сдвиговом потоке и потоке с параболическим профилем. Диффузия к вращающемуся диску. Массоперенос в пленках жидкости. Модели массопередачи. Пленочные и распылительные колонны. Математические модели аппаратов с поверхностью контакта, образующейся в процессе движения потоков. Модели тарельчатых колонн. Модели насадочных колонн. Деформация математических моделей при изменении гидродинамических режимов. Математическая модель эмульгационных колонн. Модели пульсационных колонн. Модели ротационных аппаратов. Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдооживленным и движущимся слоем. Особенности математического описания сушилок. Описание роста кристаллов и зародышеобразования. Типы используемых кристаллизаторов. Математические модели кристаллизаторов различного типа. Равновесие и массопередача в системах жидкость—жидкость. Типы используемых экстракционных аппаратов. Математические модели колонных экстракторов. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Описание равновесия в системах жидкость-пар, жидкость-газ. Типы ректификационных и абсорбционных аппаратов, их математическое описание. Математические модели мембранных установок. Общая характеристика мембранных способов разделения смесей. Их классификация. Виды мембран. Описание процесса переноса в мембранах. Математические модели фильтрационных установок, установок обратного осмоса, первапорационных установок.</p>
P4.3	Массоперенос	<p>Массоперенос, осложненный поверхностной химической реакцией. Диффузия к вращающемуся диску и плоской пластине при протекании объемной реакции. Внешние задачи массообмена частиц, капель и пузырей с потоком при различных числах Пекле и наличии объемной химической реакции. Внутренние задачи массопереноса при наличии объемной химической реакции. Нестационарный массообмен с объемной реакцией. Гидродинамика, массо- и теплообмен в неньютоновских жидкостях. Реологические модели неньютоновских несжимаемых жидкостей. Движение пленок неньютоновских жидкостей. Массоперенос в пленках реологически сложных жидкостей. Движение неньютоновских жидкостей по трубам и каналам. Теплоперенос в плоском канале и круглой трубе (с учетом диссипации). Гидродинамический тепловой взрыв в неньютоновских жидкостях. Обтекание плоской пластины степенной жидкостью. Затопленная струя степенной жидкости. Движение частиц, капель и пузырей в степенной жидкости.</p>
P5	Элементы механики твердых дисперсных сред	<p>Структура и структурные связи твердых дисперсных сред. Понятие форм и размеров твердых частиц, гранулометрического состава, сыпучести, сил взаимодействия между частицами. Реологические свойства сыпучих материалов, контактные силы внешнего трения и адгезионные свойства сыпучих материалов. Движение оживленных твердых дисперсных систем. Псевдооживленные слои. Процессы тепло- и массопереноса в псевдооживленных слоях. Механические процессы. Процессы измельчения и измельчающие машины. Классификация процессов и машин. Типы дробилок (щековые, конусные, валковые, молотковые и роторные). Типы мельниц (барабанные — центробежные и вибрационные, ударного действия и др.). Смесители сыпучих материалов, кинетика</p>

		процессов смешивания
Р6	<b>Химические реакторы</b>	
Р6.1	Гомогенные химические реакторы	<p>Гомогенные изотермические реакторы. Классификация реакторов по гидродинамическому признаку. Реактор периодического действия. Проточный реактор с мешалкой. Каскад реакторов идеального смещения. Оптимальное соотношение объемов реакторов в каскаде. Реактор с продольным перемешиванием потока (ламинарный и турбулентный режимы). Выбор типа реактора с учетом селективности реакции. Микро- и макросмещение в реакторах. Расчет реактора при произвольном распределении и времени пребывания реагирующей смеси. Комбинированные модели реакторов. Примеры построения математических моделей и расчет некоторых типов промышленных реакторов. Фотохимические реакторы. Гомогенные неизотермические реакторы. Классификация реакторов по энергетическому признаку. Адиабатические и политропические реакторы. Сравнение эффективности адиабатических и изотермических реакторов. Адиабатические и политропические реакторы с продольным перемешиванием. Комбинированные модели неизотермических реакторов. Оптимальные профили температур в каскаде реакторов и трубчатом политропическом реакторе. Оптимизация трубчатого реактора с промежуточным вводом холодной реагирующей смеси. Автотермические реакторы. Устойчивость работы адиабатических и политропических реакторов. Взаимосвязь устойчивости и селективности. Примеры построения математических моделей и расчета некоторых типов промышленных неизотермических реакторов.</p>
Р6.2	Гетерогенные химические реактора	<p>Гетерогенные каталитические реакторы, классификация каталитических реакторов по конструктивным и гидродинамическим признакам. Одно- и многослойные реакторы со стационарным слоем катализатора. Квазигомогенная и гетерогенная модели. Горячие точки в реакторе со стационарным слоем катализатора. Оптимизация многослойных каталитических реакторов с промежуточным вводом холодной реагирующей смеси. Определение продольного и радиального перемешивания в адиабатических реакторах со стационарным слоем катализатора. Учет падения активности катализатора и изменение селективности. Устойчивость реактора со стационарным слоем катализатора и выбор диаметра трубок. Автотермические каталитические реакторы. Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора. Двухфазная и трехфазная модели реактора. Реакторы с движущимся слоем катализатора. Учет изменения активности катализатора в реакторах с псевдооживленным и движущимся слоем катализатора. Понятие о многофазных каталитических реакторах. Примеры построения математических моделей расчета некоторых типов промышленных каталитических реакторов. Газожидкостные и жидкость-жидкостные реакторы. Классификация по конструктивному и гидродинамическим признакам. Реактор с мешалкой. Тарельчатые и насадочные реакторы. Модель идеального вытеснения в газовой и жидкой фазах. Симметричные и асимметричные ячеечные модели с образованием твердой фазы. Особенности составления математической модели многофазного реактора. Примеры составления математических моделей и расчета некоторых типов газожидкостных реакторов. Реакторы для проведения процессов в системах газ-твердое тело.</p>

		Классификация промышленных реакторов по конструктивному и гидродинамическому признакам. Модели реакторов с твердой фазой. Пример составления математических моделей и расчета реакторов для окисления серного колчедана и извлечения металлов из руд.
P7	Математическое моделирование химических реакторов	Модель идеального смешения. Вывод дифференциального уравнения модели. Вид функции отклика модели на стандартные возмущения. Частотные характеристики модели. Условия реализуемости принятых допущений в приложении к аппаратам химической технологии. Модель идеального вытеснения. Вывод дифференциального уравнения модели. Передаточная функция. Вид функции отклика и частотные характеристики модели. Сравнительная оценка идеальных моделей. Энтропийная оценка меры упорядоченности движения частиц. Каноническое и микроканоническое распределение Гиббса. Фактор распределения как выражение второго закона термодинамики. Учет рассеяния по времени пребывания ячеечная модель. Свойство детектируемости. Частотные характеристики и вид функции отклика. Вывод уравнения предельного перехода к модели идеального вытеснения. Диффузионная модель. Комбинированные (многопараметрические) модели. Байпасирование. Последовательное и параллельное включение ячеек идеального смешения и вытеснения. Модель с застойной зоной.

### 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 3.1. Практические занятия

Не предусмотрено.

#### 3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

##### 3.2.1. Примерный перечень тем рефератов

Тематика рефератов должна рассматривать аналитический обзор научно-технической и патентной литературы по проблеме, решаемой аспирантом при работе над кандидатской диссертацией.

1. Исследование гидродинамики двухфазного потока в теплообменных трубках выпарного аппарата.
2. Исследование гидродинамики смешивания двух технологических сред с использованием различных видов мешалок.
3. Кристаллизация веществ в условиях непрерывного процесса в циркуляционном аппарате с принудительной циркуляцией

Объем реферата 20-25 страниц машинописного текста формата А-4.

##### 3.2.2. Примерная тематика *индивидуальных* или *групповых* проектов

Не предусмотрено.

### 4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)

#### 4.1. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Применяются утвержденные в Институтах новых материалов и технологий и физико-технологическом критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 4.2. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

### 4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

Не предусмотрено.

### 4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Измельчение твердых материалов. Физико-химические основы измельчения.
2. Разделение газовых неоднородных систем под действием силы тяжести. Скорость осаждения.
3. Расчет аппаратов для разделения газовых неоднородных систем.
4. Особенности и закономерности разделения газовых неоднородных систем под действием инерционных и центробежных сил.
5. Центробежные пылеуловители – циклоны. Принцип работы, область применения, оценка работы.
6. Электрическая очистка газа от пыли и тумана. Электроосадители: принцип работы, скорость осаждения и степень улавливания пыли.

7. Промывка газа от пыли и тумана. Скрубберы: принцип работы, конструктивные особенности, область применения, достоинства и недостатки.
8. Фильтрация газов. Конструкции и принцип работы фильтров.
9. Фильтрация жидких неоднородных систем. Теория фильтрации. Основное уравнение фильтрации.
10. Конструкции фильтров: принципы работы, области применения, сравнительная характеристика.
11. Конструкции центрифуг и принцип их работы.
12. Нагревание, охлаждение, конденсация. Механизмы передачи тепла.
13. Передача тепла теплопроводностью.
14. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
15. Передача тепла конвекцией.
16. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье – Кирхгофа.
17. Критериальное уравнение конвективного теплообмена.
18. Механизм переноса тепла от среды к среде через разделяющую плоскую однослойную и многослойную стенку.
19. Механизм излучения и поглощения тепла.
20. Закон Стефана – Больцмана. Закон Кирхгофа.
21. Теплообмен излучением между твердыми телами.
22. Совместная передача тепла конвекцией и излучением.
23. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты. Принцип работы, конструктивные особенности, выбор направления движения сред, достоинства и недостатки.
24. Теплоотдача от конденсирующего пара.
25. Аппараты для нагрева паром.
26. Потери тепла и тепловая изоляция.
27. Расчет потерь тепла и толщина теплоизоляции аппарата.
28. Поверхностное испарение и кипение.
29. Материальный и тепловой баланс выпаривания.
30. Закономерности теплоотдачи от стенки к кипящей жидкости.
31. Кипение в большом объеме и в трубах.
32. Явления, сопровождающие выпаривание растворов, и меры по их устранению.
33. Конструкция выпарного аппарата с естественной циркуляцией и принцип работы.
34. Конструкция выпарного аппарата с принудительной циркуляцией и принцип работы.
35. Распределение полезной разности температур многокорпусных выпарных установок по корпусам.
36. Многокорпусные выпарные установки.
37. Преобразование дифференциальных уравнений переноса массы методами теории подобия. Критериальное уравнение конвективного массообмена. Основное уравнение массопередачи.
38. Конструкция насадочного абсорбера. Принципы работы.
39. Конструкции тарелок.
40. Определение процесса сушки, общая характеристика процесса и области применения. Методы сушки.
41. Классификация влажных материалов, формы связи влаги с твердым материалом, основные виды влаги.
42. Материальный и тепловой балансы сушки.
43. Теоретическая и действительная сушка. Кинетика сушки.
44. Способы сушки влажных материалов: конвективная сушка, сублимационная сушка, комбинированные способы.
45. Основные кинетические закономерности процесса сушки: кривые сушки и кривые скорости процесса, уравнение массопереноса при сушке, продолжительность процесса.
47. Конструкция и принцип работы барабанной сушилки.
48. Материальный баланс ректификационной колонны. Флегмовое число.

49. Жидкостная экстракция. Кинетика экстракции.
50. Конструкции экстракторов.
51. Кристаллизация. Определение процесса кристаллизации и практическое применение процесса.
52. Кинетика процесса кристаллизации.
53. Конструкции кристаллизаторов.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1. Рекомендуемая литература**

#### **5.1.1. Основная литература**

1. Акулич, П. В.; Расчеты сушильных и теплообменных установок; Белорусская наука, Минск; 2010; URL:<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89349>
2. Дытнерский, Ю. И.; Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию : учеб. пособие для студентов хим.-технол. специальностей вузов.; Альянс, Москва; 2010.-491 с.
3. Павлов, К.Ф., Романков, П. Г.; Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов.; Альянс, Москва; 2013.-576 с.
4. Брагинский Л. Н. Перемешивание в жидких средах: физические основы и инженерные методы расчета / Л. Н. Брагинский, В. И. Бегачев, В. М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.
5. Общий курс процессов и аппаратов химических технологий : учеб. для вузов. В 2 кн. Кн. 1 / В. Г. Айнтштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов и др. ; под ред. В. Г. Айнтштейна. – М. : Химия, 1999. – 888 с.
6. Лацинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: учеб. для техникумов / И. Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 252 с.
8. Касаткина А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. для вузов/ А.Г. Касаткина. - Изд. 15-е, стер. перепеч. с 9-го изд. 1973 г. – М.: Альянс, 2009. 750 с.
9. Энгель В.Ю. Гидравлика, гидропневмо-привод и гидропневмо-автоматика: учеб. пособие/ В.Ю. Энгель ; науч. ред. В.А. Дорошенко ; Урал. гос. техн. ун-т им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. - 256 с
11. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учеб. для вузов/ Р.Р. Чугаев. - 5-е изд., репр. - Москва: БАСТЕТ, 2008. - 672 с.

#### **5.1.2. Дополнительная литература**

1. Косинцев В.И., Михайличенко А.И., Крашенинникова Н.С., Сутягин В.М., Миронов В.М. «Основы проектирования химических производств» - М.: Академкнига, 2005. – 332 с.
2. Розанова Е. Н., Грехнева Е. В. - Процессы и аппараты химической технологии. Гидромеханические процессы - Курск: Изд-во Курск. гос. ун-та, 2015.

3. Мидуков Н.П., Куров В.С., Никифоров А.О. Процессы и аппараты химической технологии: учебно-практическое пособие для самостоятельной работы студентов; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2017.- 95 с.
4. Гужель Ю.А. Процессы и аппараты химической технологии: Учебное пособие. Часть третья. Массообменные процессы и аппараты / Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2020. – 145 с.
5. Храмов Ю.В. Расчёт ректификационной установки / ЛТА. Л., 1987 - 44 с.
6. Калинин Н.Н., Мирошников С.Л. Расчёт сушильных установок / ЛТА. Л., 1979 - 36 с
7. Айвазян О. М. Основы гидравлики равномерных течений / О. М. Айвазян. - Москва ; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика : Институт компьютерных исследований, 2006. - 152 с.
8. Штеренлихт Д. В. Гидравлика: учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. дипломир. специалистов в обл. техники и технологии, сельского и рыб. хоз-ва / Д. В. Штеренлихт. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2005. - 656 с.
9. Шейпак А. А. Гидравлика и гидропневмопривод: учеб. пособие для направлений 65320 "Транспорт. машины и транспорт.-технол. комплексы", 651400 "Машиностроит. технологии и оборудование", 657800 "Конструктор.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в". Ч. 1: Основы механики жидкости и газа / А. А. Шейпак ; Моск. гос. индустр. ун-т, Ин-т дистанц. образования. - 3-е изд., стер. - М.: МГИУ, 2004. - 192 с.
10. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / А. С. Юрьев, С. Ю. Пирогов, В. М. Низовцев [и др.]; под ред. А. С. Юрьева. - 2-е изд., доп. и прераб. - СПб.: Мир и семья ; Профессионал, 2004. - 1154 с.
11. Кудинов В. А. Гидравлика: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. (специальностям) в обл. техники и технологии / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. - Москва: Высшая школа, 2006. - 175 с.

## **5.2. Методические разработки**

Не используются.

## **5.3. Программное обеспечение**

1. Microsoft office (Word, Excel, Power point);
2. Adobe Reader.

## **5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;
2. Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;
3. Scopus: <http://www.scopus.com>;
4. Reaxys: <http://reaxys.com>;
5. Поисковая система EBSCO Discovery Service <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=141>;
6. Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>;
7. Интеллектуальная поисковая система Нигма.РФ . режим доступа: <http://www.nigma.ru>.

## **5.5. Электронные образовательные ресурсы**

1. Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru>;
2. Каталоги библиотеки <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=76>;
3. Электронный каталог <http://opac.urfu.ru>;
4. Электронно-библиотечные системы <http://lib.urfu.ru/mod/resource/view.php?id=2330>;
5. Электронные ресурсы свободного доступа <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=75>;
6. Электронные ресурсы по подписке <http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.