

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»**  
**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**



УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ

*[Signature]*  
 П.В.Луканин  
 «28» *[Month]* 20*[Year]* г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

<b>Б1.Б.12</b> <i>(индекс дисциплины)</i>	<b>Процессы и аппараты химической технологии</b> <i>(Наименование дисциплины)</i>
Кафедра: <b>17</b> <i>Код</i>	Процессы и аппараты химической технологии <i>(Наименование кафедры)</i>
Направление подготовки: <b>18.03.01</b>	Химическая технология
Профиль подготовки: <b>Химическая технология переработка древесины</b>	
Уровень образования: <b>бакалавриат</b>	

### План учебного процесса

Составляющие учебного процесса		Очное обучение	Очно-заочное обучение	Заочное обучение
Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся (часы)	Всего	<b>324</b>		<b>324</b>
	Аудиторные занятия	<b>213</b>		<b>30</b>
	Лекции	98		12
	Лабораторные занятия	70		14
	Практические занятия	45		4
	Самостоятельная работа	75		281
	Промежуточная аттестация	<b>36</b>		<b>13</b>
Формы контроля по семестрам (номер семестра)	Экзамен	6		3
	Зачет	5,7		3
	Контрольная работа			3
	Курсовой работа	6		3
<b>Общая трудоемкость дисциплины (зачетные единицы)</b>		<b>9</b>		<b>9</b>

Форма обучения:	Распределение зачетных единиц трудоемкости по семестрам									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очная					<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>			
Очно-заочная										
Заочная			<b>9</b>							

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным  
государственным образовательным стандартом высшего образования  
по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология

На основании учебного плана № b180301.19-234  
z180301.19-234

Кафедра-разработчик: ПАХТ  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: Никифоров А.О.  
(Ф.И.О. заведующего, подпись)

### СОГЛАСОВАНИЕ:

Выпускающая кафедра: Технологии бумаги и картона  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: Смолин А.С.  
(Ф.И.О. заведующего, подпись)

Методический отдел: Смирнова В.Г.  
(Ф.И.О. сотрудника отдела, подпись)

# 1. ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Место преподаваемой дисциплины в структуре образовательной программы

Блок 1: Базовая  Обязательная  Дополнительно является факультативом   
Вариативная  По выбору

## 1.2. Цель дисциплины

является закладка базовых знаний, необходимых в последующем при изучении технологических производств, на основе анализа и расчета типовых физических процессов.

## 1.3. Задачи дисциплины

- изучение механизма типовых физических процессов
- методов их математического описания и расчета
- изучение принципиальных аппаратов и машин химической технологии.

## 1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Формулировка компетенции	Этап формирования
ПК- 9	способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования	1,2
<b>Планируемые результаты обучения</b> <b>Знать:</b> методы составления и решения уравнений материального и теплового балансов основных процессов <b>Уметь:</b> пользоваться справочной и научной литературой по всем разделам дисциплины <b>Владеть:</b> методами технико-экономической оценки процессов с целью обоснованного выбора стандартных аппаратов		
ПК- 12	способность анализировать технологический процесс как объект управления	2
<b>Планируемые результаты обучения</b> <b>Знать:</b> принцип устройства и работы, основные характеристики и оптимальные условия работы типовых аппаратов и вспомогательного оборудования. <b>Уметь:</b> пользоваться справочной и научной литературой по всем разделам дисциплины. <b>Владеть:</b> методами технико-экономической оценки процессов с целью обоснованного выбора стандартных аппаратов.		
ПК-21	Готовность разрабатывать проекты в составе авторского коллектива	1
<b>Планируемые результаты обучения</b> <b>Знать:</b> 1) Методы идентификации параметров математической модели и установления адекватности модели 2) Методы планирования эксперимента <b>Уметь:</b> Проводить выбор аппарата и рассчитать технологические параметры процесса с учётом задач энерго- и ресурсосбережения		

Код компетенции	Формулировка компетенции	Этап формирования
<b>Владеть:</b> 1) Методами анализа и расчёта процессов в промышленных аппаратах 2) Методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования		
ПК-23	Способность проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива	1,2,3
<b>Планируемые результаты обучения</b>		
<b>Знать:</b> 1) Современные методы математического моделирования технологических процессов и аппаратов химической технологии; 2) Основные модели структуры потоков теплообменных и массообменных процессов.		
<b>Уметь:</b> 1) Использовать численные методы для решения математических задач, использовать языки и системы программирования для решения профессиональных задач; 2) Осуществлять идентификацию параметров математической модели, моделирование процессов химической технологии, промышленной экологии		
<b>Владеть:</b> 1) Методами построения математической модели процессов химической технологии и интерпретации полученных результатов; 2) Методами поиска и обмена информацией в компьютерных сетях, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов		

#### 1.5. Дисциплины (практики) образовательной программы, в которых было начато формирование компетенций, указанных в п.1.4:

Учебная практика (практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности) (ПК-9)  
Общая химическая технология (ПК-9, ПК-12)

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
<b>Учебный модуль 1. Основы гидравлики.</b>			
Тема 1. Основные понятия определения. Предмет и задачи дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии». Процессы и аппараты в целлюлозно-бумажной промышленности. Разработка новых высокоэффективных процессов и аппаратов для обеспечения выпуска высококачественной продукции, экономии материальных и энергетических ресурсов и охраны окружающей среды от выбросов предприятий. Классификация процессов. Основы расчётов типовых процессов. Материальный и тепловой балансы процесса. Движущая сила и кинетические коэффициенты процессов переноса. Общий вид уравнений скорости.	20		20
Тема 2. Жидкость. Понятие о реальной и идеальной жидкостях. Силы, действующие на жидкость. Гидростатика. Сжимаемые и несжимаемые жидкости. Гидростатическое давление. Основное уравнение гидростатики и его практическое приложение. Гидродинамика. Вязкость жидкостей и газов. Закон Ньютона. Гидродинамические режимы движения вязкой жидкости: ламинарный, турбулентный. Число Рейнольдса. Гидродинамический пограничный слой. Основные уравнения гидродинамики. Уравнение неразрывности потока. Расход жидкости и газа. Дифференциальные уравнения движения реальной	20		20

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
<p>жидкости (уравнение Навье-Стокса). Распределение скоростей в потоке. Средняя и максимальная скорость потока. Уравнение Бернулли для идеальных и реальных жидкостей. Потери напора в трубопроводах и на участках местных сопротивлений. Суммарные потери напора. Оптимальный диаметр трубопровода. Течение неньютоновских жидкостей. Особенности движения волокнистых суспензий. Реология бумажной массы. Определение оптимального диаметра трубопровода.</p> <p>Основы теории подобия и принципы физического моделирования. Подобие и аналогия физических явлений, процессов. Теоремы подобия. Преобразование дифференциальных уравнений в критериальные. Критерии подобия и их физический смысл. Условия и критерии гидродинамического подобия. Критериальные уравнения движения вязкой жидкости.</p> <p>Метод анализа размерностей и его практическое значение.</p>			
<p>Тема 3. Перемещение жидкостей. Классификация насосов. Основные параметры насосов. Производительность. Напор. Мощность. Коэффициент полезного действия. Высота всасывания.</p> <p>Поршневые и плунжерные насосы простого и многократного действия. Конструкции поршневых и плунжерных насосов, принцип их действия. Диаграммы подачи поршневых и плунжерных насосов. Воздушные колпаки</p> <p>Центробежные насосы: устройство и принцип действия. Основное уравнение центробежных машин Эйлера. Выбор насоса по каталогу. Рабочие характеристики. Работа насоса на сеть, рабочая точка. Формулы пропорциональности. Насосы для перекачивания бумажной массы.</p> <p>Конструкции осевых, шестеренчатых, диафрагмовых и коловратных насосов. Сравнительные характеристики основных типов насосов и области их применения.</p> <p>Перемещение и сжатие газов. Принцип действия и классификация компрессорных машин. Степень сжатия. Индикаторная диаграмма. Объемный к.п.д. и производительность. Многоступенчатое сжатие. Конструкции компрессоров: поршневые центробежные, осевые, струйные. Сравнительная характеристика компрессоров и области их применения. Конструкции вентиляторов и вакуум-насосов. Применение в ЦБП.</p>	18		18
<b>Текущий контроль 1. Опрос</b>	2		
<b>Учебный модуль 2. Гидромеханические процессы неоднородных систем</b>			
<p>Тема 4. Основные понятия. Методы разделения неоднородных систем. Классификация, принципы выбора и оценка эффективности методом разделения.</p> <p>Осаждение в поле силы тяжести. Движение тела в сплошной среде. Сопротивление движению тела при различных гидродинамических режимах. Основы теории осаждения. Расчет скорости свободного осаждения частиц в поле действия массовых сил. Скорость стесненного осаждения, конструкции отстойников. Расчет их основных размеров. Применение отстойников в ЦБП.</p> <p>Осаждение в поле центробежных сил. Фактор разделения. Разделение суспензий и эмульсий в гидроциклонах и отстойных центрифугах. Конструкции гидроциклонов и отстойных центрифуг, применяемых в</p>	20		22

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
<p>ЦБП. Производительность и эффективность работы гидроциклонов</p> <p>Разделение под действием сил разности давления. Фильтрация суспензий. Фильтрующие перегородки. Скорость процесса фильтрации. Виды осадков (сжимаемые и несжимаемые). Максимальная производительность фильтров и их экономически оптимальная продолжительность цикла работы. Интегральное уравнение фильтрации, определение его констант. Фильтрация волокнистых суспензий. Фильтры, применяемые в ЦБП (барабанный вакуум-фильтр, напорно-вакуумный, секционный, фильтры воздушного и жидкостного давления, ФПАКМ.)</p> <p>Очистка газов в поле центробежных и инерционных сил. Конструкции циклонов и инерционных пылеуловителей. Применение в ЦБП. Очистка газов фильтрацией. Конструкции рукавного фильтра.</p> <p>Очистка газов и разделение аэрозолей в электростатическом поле. Физические основы процессов. Устройство электрофильтров. Применение в ЦБП. Мокрая очистка запыленных газов. Теория инерционного осаждения. Аппараты для мокрой очистки газовых выбросов целлюлозно-бумажного производства (скрубберы Вентури, пенные и др.).</p> <p>Технико-экономическая оценка аппаратов для очистки газов</p>			
<p>Тема 5. Образование неоднородных систем. Псевдооживление. Гидродинамика псевдооживленных зернистых слоев. Основные характеристики слоя. Гидравлическое сопротивление. Кривая псевдооживления. Расчет скорости псевдооживления и уноса. Рабочая скорость. Высота и порозность кипящего слоя. Применение псевдооживления в ЦБП.</p> <p>Перемешивание в жидких средах. Назначение и способы перемешивания в ЦБП. Эффективность перемешивания и ее оценка. Гидродинамические структуры потоков в аппаратах с мешалками. Расчет мощности на механическое перемешивание. Типовые конструкции мешалок. Пневматическое и циркуляционное перемешивание. Перемешивание бумажной массы в аппаратах объемного типа. Вертикальные перемешивающие устройства. Горизонтальные перемешивающие устройства. Роторные смесители. Применение роторно-пульсационного аппарата в целлюлозно-бумажной промышленности. Конструкция и принцип работы, теоретические основы, технологические и конструктивные параметры.</p> <p>Интенсификация процессов перемешивания в целлюлозно-бумажной промышленности.</p>	20		20
<b>Текущий контроль 2. Опрос.</b>	2		
<b>Промежуточный контроль (зачет)</b>	6		
<b>Учебный модуль 3. Основы тепловых процессов.</b>			

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
<p>Тема 6. Значение тепловых процессов в ЦБП. Элементарные способы распространения тепла. Теплопроводность. Движущая сила тепловых процессов. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена. Условия теплового подобия. Основные критерии теплового подобия и их физический смысл. Критериальные уравнения конвективного теплообмена. Теплоотдача и теплопередача. Интенсификация теплообменных процессов. Роль процессов теплопередачи в экономии энергии.</p> <p>Теплообменные аппараты, их классификация, выбор по каталогам и ГОСТам. Поверхностные теплообменники (кожухотрубные, спиральные, пластинчатые). Смесительные теплообменники (конденсаторы смешения). Сравнительная характеристика, принципы выбора теплообменных аппаратов. Применение аппаратов в ЦБП. Основы расчета теплообменников и оптимальных режимов их работы.</p>	18		16
<p>Тема 7. Назначение и технические методы выпаривания в ЦБП. Выпаривание под вакуумом. Однократное (простое) выпаривание. Материальный и тепловой балансы. Многократное выпаривание как способ повышения экономичности процесса выпаривания. Схемы многокорпусных выпарных установок. Материальный и тепловой балансы многокорпусной выпарной установки. Общая и полезная разности температур. Температурные потери. Распределение полезной разности температур по корпусам. Техничко-экономическая оптимизация числа корпусов выпарной установки. Экономия тепловых ресурсов при выпаривании путем использования теплоты конденсатов и упаренного раствора. Особенности теплопередачи в выпарных аппаратах. Пути сокращения вредных выбросов при выпаривании щелоков целлюлозного производства. Выпаривание с тепловым насосом. Использование ЭВМ при расчете выпарных установок и оптимальных условий их работы.</p> <p>Выпарные аппараты. Классификация и основные конструктивные типы (аппараты с естественной и принудительной циркуляцией, пленочного типа). Сравнительная характеристика и принцип выбора по каталогам и ГОСТам конструкции выпарных аппаратов</p>	18		18
<b>Текущий контроль 3. Опрос.</b>	2		
<b>Текущий контроль. Контрольная работа</b>			6
<b>Промежуточная аттестация по дисциплине. Зачет</b>			4
<b>Учебный модуль 4. Основы массопередачи.</b>			
<p>Тема 8. Классификация массообменных процессов. Роль массообменных процессов в ЦБП и в задачах охраны окружающей среды. Общие закономерности переноса вещества и энергии как проявление единства материального мира и основа для применения метода аналогий. Статика массообменных процессов. Законы фазового равновесия. Направление процессов массопереноса, их обратимость. Кинетика массообменных процессов. Механизмы переноса массы – молекулярный и конвективный. Закон Фика. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Уравнение массоотдачи. Коэффициенты массоотдачи. Движущая сила процесса. Подобие массообменных процессов. Критерии диффузионного подобия и их физический смысл. Обобщенное уравнение массоотдачи.</p> <p>Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Коэффициенты массопередачи. Связь между коэффициентами массопередачи и массоотдачи. Средняя движущая сила процесса массопередачи.</p>	20		22

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Аналогия между процессами тепло- и массопереноса. Общие методы интенсификации процессов массопередачи. Роль и значение гидродинамики процесса.			
Тема 9. Сушка. Общая характеристика процесса и его применение в ЦБП. Методы сушки. Равновесная влажность и связь влаги с материалом. Конвективная сушка. Теплофизические свойства влажных газов. Диаграмма состояния влажного воздуха (диаграмма Л.К.Рамзина). Материальный и тепловой балансы сушки. Удельные расходы воздуха и тепла. Теоретическая и действительная сушилка. Основные варианты конвективной сушки, их изображение и анализ на диаграмме. Кинетика процесса сушки. Тепло- и массообмен между воздухом и материалом. Типовые кинетические кривые сушки. Периоды постоянной и падающей скоростей. Пути интенсификации и повышения экономичности процесса конвективной сушки. Конструкции конвективных сушилок, применяемых в ЦБП (туннельная, пневматическая, барабанная, с воздухоопорным движением полотна). Контактная сушка. Механизм и кинетика контактной сушки. Схема многоцилиндровой контактной сушильной установки для сушки целлюлозы, бумаги и картона. Конструкции сушильного цилиндра. Способы интенсификации контактной сушки. Утилизация теплоты отработанного воздуха и повышение экономичности сушки.	20		23
Тема 10. Абсорбция. Характеристика процесса и области его применения в ЦБП. Физическая абсорбция и хемосорбция. Равновесие в системе жидкость – газ. Влияние температуры и давления на равновесие. Материальный баланс и уравнение рабочей линии. Удельный расход абсорбента, его минимальное и экономически оптимальное значение. Конструкции абсорберов, применяемых в ЦБП. Сравнительная характеристика и области применения аппаратов различных конструкций. Расчет абсорбционной аппаратуры. Выбор абсорберов по каталогам и ГОСТам. Дистилляция и ректификация. Характеристика процессов дистилляции и ректификации и их использование в ЦБП. Равновесие между паром и жидкостью. Ректификация. Физическая сущность ректификации. Материальный баланс непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнение линий изменения рабочих концентраций. Определение минимального и рабочего флегмового числа. Техничко-экономическая оптимизация выбора флегмового числа (зависимость между флегмовым числом, расходом греющего пара, охлаждающей воды, производительностью и основными размерами аппарата	20		20
<b>Промежуточная аттестация по дисциплине. Курсовая работа.</b>	<b>10</b>		
<b>Промежуточная аттестация по дисциплине. Экзамен.</b>	<b>36</b>		
<b>Учебный модуль 5. Химические реакторы. Введение.</b>			
Тема 11. Классификация реакторов. С помощью термодинамических расчетов находят: константы равновесия химических реакций; равновесные степень превращения, выход и состав продуктов реакций; тепловые эффекты реакций, зависимости констант равновесия и скорости химических реакций от температуры.	10		16
Тема 12. Кинетические уравнения реакций позволяют определить значение констант скоростей и продолжительность реакций, необходимых для расчета скорости и времени процесса химического превращения вещества в реакторе.	10		16
Тема 13. Уравнения материального и теплового баланса служат основой расчёта реакционного объема аппарата (при заданной степени	10		16



Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
превращения) или степени превращения в реакторе (при заданных условиях). При расчете чаще всего пользуются выражением общего баланса, составленного по одному из исходных веществ, участвующих в химическом процессе.			
Тема 14. Вид уравнения зависит от типа реактора, в котором протекает процесс химического превращения веществ. Материальный баланс представляет собой основу для вывода зависимости связи между степенью превращения, скоростью и временем химического процесса, которая является необходимым элементом его расчета и носит название характеристического уравнения реактора. Тепловой баланс процесса следует рассматривать совместно с его материальным балансом, если химическое превращение вещества протекает в неизотермических условиях.	10		16
<b>Текущий контроль 2. Опрос</b>	2		
<b>Учебный модуль 6. Сравнение и выбор химического реактора.</b>			
Тема 15. Время пребывания, распределение времени пребывания, перемешивание в химических реакторах. При проектировании химического реактора и оценке его работы необходимо знать степень превращения исходных веществ в продукты реакции, выход продуктов и избирательность химического превращения веществ. Расчетные формулы для нахождения этих величин, а также связи между ними определяются, прежде всего, типом реакции и реактора, а также кинетическими закономерностями химического превращения вещества.	10		16
Тема 16. Основными факторами сравнения химических реакторов, определяющими выбор типа аппарата, является кинетика химической реакции, отношение порядков основной и побочных реакций, а также распределение времени пребывания реагентов, концентраций и температур в реакционном объеме. Эти факторы в различных типах реакторов могут по-разному влиять на степень превращения реагентов, избирательность их химического превращения, а, следовательно, и на себестоимость получаемого продукта.	12		16
<b>Текущий контроль. Опрос.</b>	2		
<b>Промежуточная аттестация. Курсовая работа</b>			10
<b>Промежуточная аттестация по дисциплине. Зачет.</b>	6		
<b>Промежуточная аттестация по дисциплине. Экзамен</b>			9
<b>ВСЕГО:</b>	<b>324</b>		<b>324</b>

### 3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

#### 3.1. Лекции

Номера изучаемых тем	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	5	2			5	0,5
2	5	8			5	0,5
3	5	8			5	1
4	5	10			5	1
5	5	8			5	1
6	6	6			5	1
7	6	6			5	1
8	6	6			6	0,5

Номера изучаемых тем	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
9	6	8			6	0,5
10	6	8			6	0,5
11	7	4			6	0,5
12	7	4			6	0,5
13	7	4			6	0,5
14	7	4			6	1
15	7	4			6	1
16	7	8			6	1
<b>ВСЕГО:</b>		<b>98</b>				<b>12</b>

### 3.2. Практические и семинарские занятия

Номера изучаемых тем	Наименование и форма занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
6	Теплопередача в химической аппаратуре.	6	2				
7	Выпаривание	6	2				
8	Основы массопередачи	6	4				
9	Определение основных параметров влажного воздуха и графоаналитический расчет процесса конвективной сушки	6	4				
10	Абсорбция и ректификация	6	5				
11	Термодинамические и химические основы химического процесса	7	4				
12	Материальный и тепловой балансы химического процесса.	7	4				
13	Степень превращения, выход и избирательность в химическом процессе.	7	4			6	2
14	Теплообмен в химических реакторах	7	4			6	2
15	. Время пребывания, распределение времени пребывания, перемешивание в химических реакторах	7	6				
16	Сравнение и выбор химических реакторов	7	6				
<b>ВСЕГО:</b>		<b>45</b>					<b>4</b>

### 3.3. Лабораторные занятия

Номера изучаемых тем	Наименование лабораторных занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
2	Определение гидравлического сопротивления элементов напорного трубопровода.	5	10			5	2
3	Исследование работы центробежных машин на гидравлическую сеть.	5	8				
4	Исследование процесса разделения суспензий	5	10				

Номера изучаемых тем	Наименование лабораторных занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
	методом фильтрации.						
5	Исследование процесса перемешивания в жидких средах.	5	8			5	2
6	Определение коэффициента теплопередачи в теплообменнике «труба в трубе».	6	8			5	2
7	Определение основных показателей работы выпарного аппарата	6	8			5	2
9	Исследование кинетики конвективной сушки.	6	6			6	2
9	Определение основных параметров влажного воздуха и графоаналитический расчет процесса конвективной сушки.	6	6			6	2
10	Исследование процесса дистилляции	6	6			6	2
<b>ВСЕГО:</b>			<b>70</b>				<b>14</b>

## 4. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### 4.1. Цели и задачи курсовой работы.

Обучение студентов методике расчета и проектирования комплекса химических аппаратов, составляющих установку для проведения одного из массообменных процессов. Для определения конструкции, размеров и выбора по стандартам и нормам всех аппаратов, составляющих установку, необходимо, как правило, произвести расчет гидромеханических, тепловых и массообменных процессов в указанной аппаратуре с использованием компьютера. Это позволяет закрепить теоретические знания студента по курсу процессов и аппаратов химической технологии, привить ему практические навыки проектирования и использования вычислительной техники и подготовить студента к курсовому проектированию по специальным дисциплинам, а также к дипломному проектированию.

### 4.2. Тематика курсовой работы

1. Расчет ректификационной установки для разделения бинарных смесей.
2. Расчет ректификационной установки для разделения многокомпонентных смесей.
3. Расчет абсорбционной установки.

### 4.3. Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы

Работа выполняется индивидуально, с использованием специализированного программного обеспечения

Результаты представляются в виде пояснительной записки объемом 25-35 страниц, содержащей следующие обязательные элементы:

1. Введение.
2. Материальный баланс процесса.
3. Тепловой баланс процесса.
4. Основные размеры аппарата.
5. Вспомогательное оборудование.
6. Выводы.
7. Библиографический список.

Графическая часть по курсовой работе составляет 1 лист формата А1.

## 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Номера учебных модулей, по которым проводится контроль	Форма контроля знаний	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во
1,2	Опрос	5	2				
3,4	Опрос	6	2				
5,6	Опрос	7	2				
1-7	Контрольная работа					5	1

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Виды самостоятельной работы обучающегося	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
Усвоение теоретического материала	5	15				
	6	5			5	70
	7	8			6	70
Подготовка к лабораторным занятиям	5	15			5	50
	6	6			6	60
Подготовка к практическим занятиям	6	2			6	15
	7	2				
Выполнение контрольной работы					5	6
Выполнение курсовой работы	6	10			6	10
Подготовка к зачету	5	6			5	4
	7	6				
Подготовка к экзамену	6	36			6	9
<b>ВСЕГО:</b>		<b>75+36</b>				<b>281+13</b>

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 7.1. Характеристика видов и используемых инновационных форм учебных занятий

Наименование видов учебных занятий	Используемые инновационные формы	Объем занятий в инновационных формах (часы)		
		очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Практические занятия	На практических занятиях разъясняются теоретические положения курса, обучающиеся работают с конкретными ситуациями, овладевают навыками сбора, анализа и обработки информации для принятия самостоятельных решений	12		
Лабораторные занятия	Проведение учебного эксперимента на лабораторной установке.	18		
<b>ВСЕГО:</b>		<b>30</b>		

### 7.2. Система оценивания успеваемости и достижений обучающихся для промежуточной аттестации

традиционная

балльно-рейтинговая

## 8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## 8.1. Учебная литература

### а) основная учебная литература

1. Процессы и аппараты химической технологии: учебник/ Анштейн В.Г, Захаров М.К. и др.- БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.- 1759с. .(ЭБС“IPRbooks”: Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9103.>)

### б) дополнительная учебная литература

2. Мидуков, Н.П. Массообменные процессы в целлюлозно-бумажной промышленности [Электронный ресурс]: учеб. пособие /Н.П.Мидуков, В.С.Куров, А.О.Никифоров. –СПб.: СПбГТУРП, 2015. -125 с.(ЭБВШТЭ: Режим доступа: <http://www.nizrp.narod.ru/kafpriapxt.htm>)

### б) дополнительная учебная литература

3.Процессы и аппараты: учебно-практическое пособие для выполнения лабораторных работ[Электронный ресурс]: учеб. пособие /Н.П.Мидуков, В.С.Куров, А.О.Никифоров. –СПб.: СПбГТУРП, 2016. -108 с.(ЭБВШТЭ: Режим доступа: <http://www.nizrp.narod.ru/kafpriapxt.htm>)

## 8.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

## 8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.edu.ru> –Федеральный портал «Российское образование»
2. <http://www.openet.ru> – Российский портал открытого образования
3. <http://www.exponenta.ru> – Российский портал образования
4. [www.chemnet.ru](http://www.chemnet.ru)

## 8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем:

1. Microsoft Windows 8.1
2. Microsoft Office Professional 2013
3. PTC Mathcad 15
4. AutoDesk AutoCAD 2015

## 8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Компьютерный класс с мультимедийным комплексом и выходом в Интернет.
2. Выпарная установка, установка для определения гидравлических сопротивлений; установка для исследования процесса разделения суспензии; установка для исследования кинетики фильтрования; установка по определению теплопередачи в теплообменнике; установка для определения пара-метров влажного воздуха; установка для процесса перемешивания.

## 8.6. Иные сведения и (или) материалы

Демонстрационные стенды: насосы, отстойники, фильтры, теплообменники, сушилки.

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся	Организация деятельности обучающегося
Лекции	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы и формулировки; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий: осуществлять с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь
Практические занятия	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы.
Лабораторные	В результате проведения лабораторных занятий обучающийся должен понять

Виды учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся	Организация деятельности обучающегося
занятия	принципы устройства и работы аппаратов.
Самостоятельная работа	Изучение научной, учебной, нормативной и др. литературы. Отбор необходимого материала; проведение практических исследований по теме, формулирование выводов и разработка конкретных рекомендаций по достижению поставленной цели и задач. При подготовке к зачету, экзамену и курсовой работе необходимо проработать конспекты лекций и практических занятий, рекомендуемую литературу.

## 10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 10.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 10.1.1. Показатели оценивания компетенций на этапах их формирования

Код компетенции (этап освоения)	Показатели оценивания компетенций	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
ПК- 9 (1,2)	Ориентироваться в методах составления и решения уравнений материального и теплового балансов основных процессов	Вопросы для устного собеседования	Перечень вопросов для устного собеседования (60 вопросов)
	пользуется справочной и научной литературой по всем разделам дисциплины	Курсовая работа	Перечень тем КР (30 темы)
	Демонстрирует результат использования методов технико-экономической оценки процессов с целью обоснованного выбора стандартных аппаратов	Курсовая работа	Перечень тем КР (30 темы)
ПК- 12 (2)	Выносит аргументированные суждения по принципу устройства и работы, основным характеристикам и оптимальным условиям работы типовых аппаратов и вспомогательного оборудования	Вопросы для устного собеседования	Перечень вопросов для устного собеседования (60 вопросов)
	Демонстрирует использование справочной и научной литературой по всем разделам дисциплины	Курсовая работа	Перечень тем КР (30 темы)
	Осуществляет технико-экономическую оценку процессов с целью обоснованного выбора стандартных аппаратов	Курсовая работа	Перечень тем КР (30 темы)
ПК-21 (1)	Показывает умение пользоваться методами идентификации параметров математической модели и устанавливать адекватность модели; методы планирования эксперимента	Вопросы для устного собеседования	Перечень вопросов для устного собеседования (60 вопросов)
	Демонстрирует умение выбирать аппараты и рассчитывать технологические параметры процесса с учётом задач энерго- и ресурсосбережения	Курсовая работа	Перечень тем КР (30 темы)
	Владеет методами анализа и расчёта процессов в промышленных аппаратах; методами определения оптимальных и	Курсовая работа	Перечень тем КР (30 темы)

Код компетенции (этап освоения)	Показатели оценивания компетенций	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
	рациональных технологических режимов работы оборудования		
ПК-23 (1,2,3)	Выносит аргументированные суждения по современным методам математического моделирования технологических процессов и аппаратов химической технологии; основным моделям структуры потоков теплообменных и массообменных процессов	Вопросы для устного собеседования	Перечень вопросов для устного собеседования (60 вопросов)
	Осуществляет численные методы для решения математических задач, использовать языки и системы программирования для решения профессиональных задач; осуществлять идентификацию параметров математической модели, моделирование процессов химической технологии, промышленной экологии	Курсовая работа  Практические задания	Перечень тем КР (30 темы)  Практические типовые задания (30 задач)
	Самостоятельно использует методы построения математической модели процессов химической технологии и интерпретации полученных результатов; методы поиска и обмена информацией в компьютерных сетях, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов	Курсовая работа	Перечень тем КР (30 темы)

### 10.1.2. Описание шкал и критериев оценивания сформированности компетенций

#### Критерии оценивания сформированности компетенций

Оценка по традиционной шкале	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
отлично	Обучающийся показывает всесторонние знания в области процессов и аппаратного их оформления. Владеет основными понятиями и терминологией во время ответов. Хорошо знаком с основной и дополнительной литературой. Целеустремленно использует и применяет базовые знания в области физико-математических наук. Проявляет эрудицию при работе с учебным материалом.	Полное и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов проекта соответствует требованиям, содержание полностью соответствует заданию. Даны исчерпывающие выводы и полные ответы на поставленные вопросы. Работа представлена к защите в требуемые сроки.
хорошо	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний по основам теории процессов. В целом разбирается в терминологии. Усвоил основную литературу; допускает некоторые погрешности и несущественные ошибки в ответах на вопросы экзаменационного билета и в ответах на дополнительные вопросы преподавателя.	Работа выполнена в соответствии с заданием. Имеются отдельные несущественные ошибки в работе или в ответах на поставленные при защите вопросы, могут иметь место от правил оформления работы или нарушены сроки предоставления проекта к защите.

удовлетворительно	Обучающийся показывает знания учебного материала из лекций и основной литературы. В целом показывает знания базовых законов по гидравлическим, тепловым и массообменным процессам. Допускает существенные ошибки в ответах, но может их устранить под руководством преподавателя.	Задание выполнено полностью, но в работе есть существенные ошибки, присутствуют неточности в ответах, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием
неудовлетворительно	Обучающийся не имеет достаточного уровня знаний дисциплины. Путается в понятиях, терминологии и формулировках. Плохо знает литературу. Допускает существенные и принципиальные ошибки и не может их устранить даже с помощью преподавателя. Списывание, попытка использования неразрешенных технических средств или подсказки другого человека.	Содержание работы полностью не соответствует заданию. Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы. Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы. Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора.
Зачтено	Обучающийся демонстрирует высокий уровень эрудиции; хорошо разбирается в основных закономерностях, базовых для процессов и аппаратов; усвоил основную и, частично, дополнительную литературу. Точно отвечает на задаваемые преподавателем дополнительные вопросы. Способен к целеустремленному применению базовых знаний в профессиональной деятельности.	
Не зачтено	Обучающийся не имеет достаточного уровня знаний дисциплины; не владеет формулировками основных закономерностей процессов. Путается в понятиях и определениях. Не владеет основной литературой; при ответах допускает существенные и принципиальные ошибки и не в состоянии их устранить.	

*\*Существенные ошибки – недостаточная глубина и осознанность ответа (например, студент не смог применить теоретические знания для объяснения явлений, для установления причинно-следственных связей, сравнения и классификации явлений и т.д.).*

*\* Несущественные ошибки – неполнота ответа (например, упущение из вида какого-либо нехарактерного факта, дополнения при описании процесса, явления, закономерностей и т.д.); к ним могут быть отнесены оговорки, допущенные при невнимательности студента.*

## 10.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

### 10.2.1. Перечень вопросов (тестовых заданий), разработанный в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

№ п/п	Формулировка вопросов	№ темы
1	Основные понятия и определения в процессах и аппаратах.	1
2	Классификация процессов.	1
3	Материальный и тепловой балансы процессов.	1
4	Движущая сила процессов и процессы переноса.	1
5	Жидкости. Понятия идеальной и реальной жидкостей.	2
6	Гидростатика. Основное уравнение гидростатики и его практическое использование.	2
7	Вязкость жидкостей. Закон вязкого трения Ньютона.	2
8	Режимы движения жидкостей. Число Рейнольдса.	2
9	Расход жидкости и газа.	2
10	Уравнение Бернулли для идеальных жидкостей.	2
11	Потери напора по длине и на местные сопротивления.	2
12	Гидравлический радиус и эквивалентный диаметр.	2
13	Критерий гидродинамического подобия и их физический смысл.	2
14	Классификация насосов.	3
15	Напор и производительность насосов. Мощность и коэффициент полезного действия.	3



16	Высота всасывания.	3
17	Поршневые и плунжерные насосы простого и двойного действия.	3
18	Центробежные насосы: устройства и принцип действия.	3
19	Основное уравнения центробежных машин Эйлера.	3
20	Работа насоса на сеть, рабочая точка.	3
21	Перемещение и сжатие газов. Индикаторная диаграмма.	3
22	Классификации и методы разделения неоднородных систем.	4
23	Осаждение в поле сил тяжести.	4
24	Расчет скорости свободного осаждения частиц. Скорость стесненного осаждения.	4
25	Конструкции отстойников и их расчет.	4
26	Фильтрование и скорость процесса фильтрования, фильтрующие перегородки.	4
27	Определение констант фильтрования.	4
28	Конструкции фильтров и их сравнительный анализ.	4
29	Пути повышения производительности фильтрующих аппаратов.	4
30	Очистка газов в центробежных сил.	4
31	Аппараты для мокрой очистки.	4
32	Псевдоожижение и его гидродинамика.	5
33	Кривая псевдоожижения.	5
34	Расчет скорости псевдоожижения и у носа.	5
35	Перемешивание, движущая сила. Эффективность и интенсивность перемешивания.	5
36	Расчет мощности, потребляемой мешалкой.	5
37	Интенсификация процессов перемешивания.	5
38	Теплопередача. Опытное уравнение. Коэффициент теплопередачи.	6
39	Элементарные и сложные механизмы переноса тяжести.	6
40	Конвекция и теплоотдача. Физический смысл.	6
41	Тепловое подобие. Основные критерии теплового подобия. Определяющие и определяемый критерии.	6
42	Интенсификация теплообменных процессов.	6
43	Теплообменные аппараты, классификация и выбор по ГОСТам.	6
44	Рекуперативные теплообменники: кожухотрубные, спиральные и пластинчатые.	6
45	Основы расчета теплообменников.	6
46	Выпаривание. Методы выпаривания. Выпарка под вакуумом.	7
47	Однократное выпаривания. Материальный и тепловой балансы.	7
48	Многokратное выпаривание и схемы многокорпусных выпарных установок.	7
49	Материальный и тепловой балансы многокорпусных выпарных установок.	7
50	Общая и полезная разности температур. Температурные потери.	7
51	Особенности теплопередачи в выпарных аппаратах. Скрытая теплота конденсации.	7
52	Выпарные аппараты и их классификация.	7
53	Использование выпарных аппаратов, их выбор и сравнительная характеристика. Подбор аппаратов по каталогам и ГОСТам.	7
54	Классификация массообменных процессов. Общие закономерности переноса вещества и энергии.	8
55	Направление процессов массопереноса, их обратимость. Кинетика массообменных процессов.	8
56	Механизмы переноса массы – молекулярный и конвективный. Закон Фика.	8
57	Уравнение конвективной диффузии и уравнение массоотдачи. Движущая сила процесса.	9
58	Критерии диффузионного подобия и их физический смысл.	9
59	Массопередача и её основное уравнение. Коэффициенты массопередачи и их связь с коэффициентами массоотдачи.	10
60	Гидравлика в массообменных процессах.	10

**Вариант заданий, разработанных в соответствии с установленными этапами формирования компетенций**

№ п/п	Условия типовых задач	Ответ
1	Определить потерю давления на трение при протекании воды по латунной трубе диаметром 19x2 мм длиной 10. Скорость воды 2 м/с. Температура 55° С. Шероховатость $\epsilon = 0,005$ мм.	$2,88 \times 10^4$ Па

2	Привести формулу $\Delta p = 32 * \frac{\omega * \mu * L}{d^2}$ к критериальному виду.	$Eu = \frac{32 * z}{Re * d}$
3	Определить КПД насосной установки. Насос подает 380 л/мин мазута относительной плотности 0,9. Полный напор 30,8 м. Потребляемая мощность двигателя 2,5 кВт.	Увеличится в 8 раз
4	Определить КПД насосной установки. Насос подает 380 л/мин мазута относительной плотности 0,9. Полный напор 30,8 м. Потребляемая мощность двигателя 2,5 кВт.	0,69
5	Центробежный насос, делающий 1800 об/мин должен перекачивать 140 м <sup>3</sup> /час воды, с температурой 30°С. Среднее атмосферное давление в месте установки насоса 745 мм рт. ст. Полная потеря напора во всасывающей линии 4,2 м. Определить теоретически допустимую высоту всасывания.	Не более 2,2 м
6	Рассчитать плотность водной суспензии, содержащей 10% (масс.) твердой фазы. Относительная плотность твердой фазы 3	1070 кг/м <sup>3</sup>
7	Вывести формулу, по которой можно вычислить скорость центрифугирования твердых шарообразных частиц, исходя из закона Стокса. Частота вращения в об/сек.	$\omega_0 = \frac{d^2 * (\rho_{сп} - \rho)}{18 * \mu} * \omega^2 * r$
8	Лопастная мешалка с $d_1 = \frac{D}{3}$ заменена на меньшую с $d = \frac{D}{4}$ . Размешивание в обоих случаях производится в условиях ламинарного режима. Как изменится частота вращения при той же мощности электродвигателя?	Увеличится в 1,3 раза

**10.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности), характеризующих этапы формирования компетенций**

**10.3.1. Условия допуска обучающегося к сдаче (экзамена, зачета и защите курсовой работы) и порядок ликвидации академической задолженности**

Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся

**10.3.2. Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

устная  письменная  компьютерное тестирование  иная\*

**10.3.3. Особенности проведения (экзамена, зачета и защиты курсовой работы)**

Время на подготовку ответа по билету 45 минут.

Ответ по билету 15 минут.

Время, отводимое на защиту курсовой работы, не должно превышать 15 мин, включая краткий доклад по результатам курсовой работы и ответы на вопросы