

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ



Рабочая программа дисциплины

Б1.О.25

Процессы и аппараты химической технологии

Учебный план: _____ ФГОСЗ++b180301.12-3 24-14.plx

Кафедра: 17 Процессы и аппараты химической технологии

Направление подготовки:
(специальность) 18.03.01 Химическая технология

Профиль подготовки:
(специализация) Химическая технология органических веществ

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся			Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия				
5	УП	34		34	4	36	3	Экзамен
	РПД	34		34	4	36	3	
6	УП	34	17	34	23	36	4	Экзамен, Курсовая работа
	РПД	34	17	34	23	36	4	
7	УП	34	34		3,75	0,25	2	Зачет
	РПД	34	34		3,75	0,25	2	
Итого	УП	102	51	68	30,75	72,25	9	
	РПД	102	51	68	30,75	72,25	9	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология, утверждённым приказом Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 922

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Доктор технических наук, профессор

Куров В.С.

Мидуков Н.П.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой процессов и аппаратов
химической технологии

Никифоров А.О.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Тришин Ю.Г.

Методический отдел:

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: закладка базовых знаний, необходимых в последующем при изучении технологических производств, на основе анализа и расчета типовых физических процессов

1.2 Задачи дисциплины:

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

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Общая химическая технология

Инженерная и компьютерная графика

Математика

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ОПК-4: Способен обеспечивать проведение технологического процесса, использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, осуществлять изменение параметров технологического процесса при изменении свойств сырья

Знать: основы теории переноса импульса, тепла и массы; принципы физического моделирования химико-технологических процессов; основные уравнения движения жидкостей; основы теории теплопередачи; основы теории массопередачи в системах со свободной и неподвижной границей раздела фаз; типовые процессы химической технологии, соответствующие аппараты и методы их расчета.

Уметь: определять характер движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса.

Владеть: методами технологических расчетов отдельных узлов химического оборудования.

3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа			СР (часы)	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)	Лаб. (часы)		
Раздел 1. Основы гидравлики	5					Ко
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.		6			0,8	
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 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. 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. Лабораторная работа № 1 - Гидравлические сопротивления элементов напорного трубопровода.		6		8	0,8	

Тема 3. Перемещение жидкостей. Классификация насосов. Основные параметры насосов. Производительность. Напор. Мощность. Коэффициент полезного действия. Высота всасывания. Поршневые и плунжерные насосы простого и многократного действия. Конструкции поршневых и плунжерных насосов, принцип их действия. Диаграммы подачи поршневых и плунжерных насосов. Воздушные колпаки 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. Кавитация. Конструкции осевых, шестеренчатых и диафрагмовых насосов. Сравнительные характеристики основных типов насосов и области их применения. 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. Лабораторная работа № 2 – Исследование работы центробежных машин на гидравлическую сеть.					
	6		8	0,8	
Раздел 2. Гидромеханические процессы неоднородных систем					Ко

Тема 4. Основные понятия. Методы разделения неоднородных систем. Классификация, принципы выбора и оценка эффективности методом разделения. 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. Осаждение в поле центробежных сил. Фактор разделения. Разделение суспензий и эмульсий в гидроциклонах и отстойных центрифугах. Конструкции гидроциклонов и отстойных центрифуг. Производительность и эффективность работы гидроциклонов. 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 (барабанный вакуум-фильтр, напорно-вакуумный, секционный, фильтры воздушного и жидкостного давления, ФПАКМ.) Очистка газов в поле центробежных и инерционных сил. Конструкции циклонов и инерционных пылеуловителей. Очистка газов фильтрованием. Конструкции рукавного фильтра. Очистка газов и разделение аэрозолей в электростатическом поле. Физические основы процессов. Устройство электрофильтров. Мокрая очистка запыленных газов. Теория инерционного осаждения. Аппараты для мокрой очистки газовых выбросов целлюлозно-бумажного производства (скрубберы Вентури, пенные и др.). Технико-экономическая оценка аппаратов для очистки газов. Лабораторная работа № 3 – Исследование процесса разделения суспензий методом осаждения, Лабораторная работа № 4 – Исследование процесса разделения суспензий методом фильтрации.					
	8		12	0,8	

Тема 5. Образование неоднородных систем. Псевдоожижение. Гидродинамика псевдоожиженных зернистых слоев. Основные характеристики слоя. Гидравлическое сопротивление. Кривая псевдоожижения. Расчет скорости псевдоожижения и уноса. Рабочая скорость. Высота и порозность кипящего слоя. Перемешивание в жидких средах. Назначение и способы перемешивания. Эффективность перемешивания и ее оценка. Гидродинамические структуры потоков в аппаратах с мешалками. Расчет мощности на механическое перемешивание. Типовые конструкции мешалок. Пневматическое и циркуляционное перемешивание. Применение роторно-пульсационного аппарата в целлюлозно-бумажной промышленности. Конструкция и принцип работы, теоретические основы, технологические и конструктивные параметры. Интенсификация процессов перемешивания в целлюлозно-бумажной промышленности. Лабораторная работа № 5 - Расход энергии на перемешивание в жидких средах.		8		6	0,8	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34		34	4	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5			33,5	
Раздел 3. Основы тепловых процессов						
Тема 6. 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. Теплообменные аппараты, их классификация, выбор по каталогам и ГОСТам. Поверхностные теплообменники (кожухотрубные, спиральные, пластинчатые). Смесительные теплообменники (конденсаторы смешения). Сравнительная характеристика, принципы выбора теплообменных аппаратов. Основы расчета теплообменников и оптимальных режимов их работы. Лабораторная работа № 6 – Определение коэффициента теплопередачи в теплообменнике типа труба в трубе.	6	6	3	6	4,6	Ko

Тема 7. Назначение и технические методы выпаривания. 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. Особенности теплопередачи в выпарных аппаратах. Пути сокращения вредных выбросов при выпаривании щелоков целлюлозного производства. 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. Лабораторная работа № 7 – Определение основных показателей работы выпарного аппарата.		6	3	6	4,6	
Раздел 4. Основы массопередачи						
Тема 8. Классификация массообменных процессов. Роль массообменных процессов 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. Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Коэффициенты массопередачи. Связь между коэффициентами массопередачи и массоотдачи. Средняя движущая сила процесса массопередачи. Аналогия между процессами тепло- и массопереноса. Общие методы интенсификации процессов массопередачи. Роль и значение гидродинамики процесса. Лабораторная работа № 8 - Определение основных параметров влажного воздуха и графоаналитический расчет процесса конвективной сушки.		6	5	6	4,6	Ko

Тема 9. Сушка. Общая характеристика процесса и его применения. 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 (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. Лабораторная работа № 9 – Исследование кинетики конвективной сушки.		8	4	8	4,6	
Тема 10. Абсорбция. Характеристика процесса и области его применения. 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. 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. 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). Лабораторная работа № 10 – Изучение процесса простой перегонки двухкомпонентной смеси спирт-вода.		8	2	8	4,6	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34	17	34	23	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовая работа)		2,5			33,5	
Раздел 5. Химические реакторы. Введение	7					3

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.		4	6		0,62	
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.		6	6		0,62	
Тема 13. Уравнения материального и теплового баланса служат основой расчёта реакционного объема аппарата (при заданной степени 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.		6	6		0,62	
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.		6	6		0,62	
Раздел 6. Сравнение и выбор химического реактора						
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.		6	6		0,62	3

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.		6	4		0,65	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34	34		3,75	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25				
Всего контактная работа и СР по дисциплине		226,25			97,75	

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта): 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 (проекта): 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 (проекта):

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. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1 Показатели оценивания ОБУЧЕНИЯ

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения
ОПК-4	Демонстрирует знания современных методов математического моделирования технологических процессов и аппаратов химической технологии. Основные модели структуры потоков теплообменных и массообменных процессов. Использует численные методы для решения математических задач, языки и системы программирования для решения профессиональных задач; Осуществляет идентификацию параметров математической модели, моделирование процессов химической технологии, промышленной экологии. Владеет методами построения математической модели процессов химической технологии и интерпретации полученных результатов, а так же методами поиска и обмена информацией в компьютерных сетях, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов

5.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (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.
4 (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.
3 (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
2 (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.	

5.3 Типовые контрольные задания и/или иные материалы, используемые для оценки результатов обучения

5.3.1 Типовые контрольные вопросы

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 5	
1	Классификация основных процессов. Общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов.
2	Вязкость ньютоновских жидкостей. Закон Ньютона.
3	Гидравлический радиус и эквивалентный диаметр.
4	Уравнение неразрывности потока.
5	Режимы движения жидкости. Профили скоростей в различных режимах.
6	Вывод дифференциального уравнения движения реальной жидкости (уравнение Навье-Стокса). Уравнение Навье-Стокса для трехмерного движения.
7	Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера). Вывод основного уравнения гидростатики.
8	Вывод уравнения Бернулли для идеальной жидкости. Его анализ, геометрическая иллюстрация.
9	Практическое применение уравнения Бернулли (трубка Пито-Прандтля, трубка Вентури).
10	Уравнение Бернулли для реальной жидкости. Потери энергии при параллельно струйном течении жидкости. Вывод уравнения Дарси.
11	Оптимальный диаметр трубопровода. Гидравлический радиус и эквивалентный диаметр.
12	Потери энергии при турбулентном движении жидкости. Местные сопротивления.
13	Неньютоновские жидкости. Вязкость неньютоновских жидкостей.
14	Особенности движения волокнистых суспензий.
15	Критерии гидромеханического подобия. Модифицированные и сложные критерии подобия.
16	Основные параметры насосов. Напор, развиваемый насосом.
17	Высота всасывания насоса.
18	Центробежный насос. Принцип действия, устройство. Характеристики центробежных насосов. Законы пропорциональности. Кавитация.
19	Основное уравнение центробежных машин (уравнение Эйлера). Действительный напор.
20	Термодинамические основы процесса сжатия и перемешивания газов.
21	Процесс сжатия газов в одноступенчатом поршневом компрессоре. Предел одноступенчатого сжатия.
22	Конструкция водокольцевого вакуум-насоса.
23	Конструктивные особенности и выбор центробежных вентиляторов.
24	Разделение неоднородных систем. Классификация неоднородных систем и способы их разделения.
25	Кинетика свободного отстаивания, расчет скорости свободного отстаивания.
26	Расчет скорости процесса отстаивания по методу проф.Лященко.
27	Расчет скорости стесненного отстаивания и скорости осаждения частиц не шарообразной формы.
28	Расчет площади отстойника.
29	Конструкция одноярусного отстойника. Достоинства и недостатки. Многоярусный отстойник.
30	Особенности расчета скорости осаждения в поле центробежных сил. Конструкции циклонов, радиклонов, батарейного циклона. Конструкция отстойной центрифуги.
31	Особенности расчета скорости осаждения в электрическом поле. Конструкции электрофильтров
32	Мокрая очистка газов. Скрубберы. Мокрый циклон и пенный аппарат.
33	Фильтрация. Физический смысл. Основы вывода дифференциального уравнения процесса. Его анализ. Интегральное уравнение фильтрования. Определение констант фильтрования.
34	Конструкция ячейкового вакуум-фильтра, барабанного вакуум-фильтра, напорно-вакуумного фильтра, фильтра воздушного давления.
35	Основы теории псевдоожижения. Скорость псевдоожижения.
36	Перемешивание в жидких средах. Способы перемешивания. Основные параметры. Моделирование процессов перемешивания. Критерий мощности.
37	Получение суспензий и эмульсий в аппаратах с мешалками. Конструкции механических перемешивающих устройств. Конструкции турбинных мешалок открытого и закрытого типа.
Семестр 6	
38	Тепловые процессы. Виды тепловых процессов. Движущая сила. Температурное поле, температурный градиент, тепловой поток.
39	Способы распространения тепла. Перенос теплоты теплопроводностью. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
40	Перенос теплоты в движущихся средах. Уравнение Фурье-Кирхгофа.

41	Подобие тепловых процессов. Основные критерии теплового подобия. Определяющие и определяемый критерии. Физический смысл критериев подобия. Критериальные уравнения.
42	Расчет средней движущей силы теплопередачи для прямоточной схемы и противоточной
43	Теплоотдача и теплопередача. Анализ уравнений теплоотдачи и теплопередачи.
44	Основы расчета теплообменных аппаратов.
45	Теплообменные аппараты смешения. Расчет высоты барометрической трубы и расхода воды.
46	Конструкции спиральных теплообменных аппаратов для систем «жидкость-пар», «жидкость-жидкость». Их сравнительный анализ.
47	Классификация теплообменных аппаратов. Конструкции кожухотрубных теплообменников. Конструкции пластинчатых теплообменников, их преимущества и недостатки.
48	Выпаривание. Назначение. Движущая сила. Преимущества водяного пара как теплоносителя. Преимущества выпаривания под вакуумом
49	Материальный и тепловой балансы однокорпусной выпарной установки. Материальный и тепловой балансы многокорпусной выпарной установки. 14. Общая и полезная разность температур. Температурные потери в многокорпусных выпарных установках.
50	Конструкции пленочных выпарных аппаратов. Конструкции выпарных аппаратов с вынесенной зоной кипения. Распределение полезной разности температур по корпусам многокорпусной выпарной установки. Повышение экономичности выпаривания. Технологические схемы многокорпусных выпарных установок. Сравнительный анализ.
51	Подобие массообменных процессов. Физический смысл критериев подобия. Критериальные уравнения. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Их анализ.
52	Сушка. Все виды сушки. Движущая сила процесса сушки. Свойства влажного воздуха. Диаграмма I-x влажного воздуха. Ее назначение. Изображение процессов нагрева и охлаждения воздуха на диаграмме Л.К. Рамзина
53	Конструкции колонных аппаратов с колпачковыми и провальными тарелками. Конструкции колонных тарельчатого типа с организованным переливом аппаратов
54	Механизм и кинетика контактной сушки. Особенности теплопередачи на сушильных цилиндрах. Материальный баланс, тепловой баланс конвективной сушки. Кинетика и механизм конвективной сушки. Конструкции конвективных сушилок (туннельная; с кипящим слоем).
55	Конструкция сушилки с воздухоопорным движением бумажного полотна. Конструкция сушильного цилиндра. Конструкции барабанной и пневматической сушилок. Схема сушильной части бумагоделательной машины.
56	Абсорбция. Физическая сущность. Условия равновесия при абсорбции. Хемосорбция. Материальный баланс процесса абсорбции. Уравнение рабочей линии. Изображение на диаграмме Y-X. Средняя движущая сила процесса абсорбции. Число единиц переноса.
57	Основы расчета абсорберов со ступенчатым контактом фаз и с непрерывным контактом фаз. Влияние расхода абсорбента на высоту колонны. Конструкции насадочных абсорберов. Их гидродинамические режимы работы.
58	Ректификация и дистилляция. Физическая сущность. Молекулярная и конвективная диффузия.
59	Построение рабочих линий процесса ректификации на Y-X диаграмме. Условия равновесия при ректификации. Вывод уравнения линии равновесия. Изображение на Y-X диаграмме. Вывод уравнений рабочих линий процесса ректификации. Материальный баланс процесса ректификации.
60	Минимальное количество флегмы. Влияние количества флегмы на движущую силу процесса ректификации, высоту колонны и расход пара в кипятильнике. Схема ректификационной установки. Принцип действия
Семестр 7	
61	Классификация реакторов.
62	Технологические критерии оценки эффективности протекания процесса в химическом реакторе: степень превращения реагента, выход продукта, связь между ними.
63	Технологические критерии оценки эффективности процесса, протекающего в химическом реакторе: селективность процесса получения продукта, расходные коэффициенты по сырью. Связь селективности со степенью превращения и выходом продукта.
64	Моделирование химических реакторов: понятие об элементарном объеме и элементарном промежутке времени, уравнение материального баланса химического реактора (в общем виде) и его анализ.
65	Общая характеристика идеальных моделей химических реакторов (допущения об идеальности, характер изменения параметров в зависимости от объема реактора и от времени.
66	Уравнение материального баланса РИС-Н. Вывод характеристического уравнения.
67	Уравнение материального баланса РИС-П. Вывод характеристического уравнения.
68	Уравнение материального баланса РИВ. Вывод характеристического уравнения.
69	КРИС-Н: характеристика, назначение. Уравнение материального баланса КРИС-Н.
70	Графический метод расчета КРИС-Н.

71	Уравнение теплового баланса химического реактора в общем виде, его анализ. Тепловые режимы работы реакторов.
72	Математическое описание РИС-Н в различных тепловых режимах.
73	Математическое описание РИС-П в различных тепловых режимах.
74	Математическое описание РИВ в различных тепловых режимах.
75	Тепловая устойчивость работы реакторов (на примере адиабатического РИС-Н).
76	Способы повышения степени превращения реагентов в случае проведения процесса в адиабатическом РИС-Н.
77	Способы поддержания оптимального температурного режима в случае протекания обратимой экзотермической реакции.
78	Аналитический метод расчета КРИС-Н.
79	Уровень химического процесса и уровень химического реактора в иерархической структуре химического производства.
80	Общая характеристика гомогенных процессов. Аппаратурное оформление гомогенных некаталитических процессов.
81	Гомогенные некаталитические процессы: термодинамические закономерности влияния температуры на степень превращения реагента (выход продукта).
82	Гомогенные некаталитические процессы: термодинамические закономерности влияния давления на степень превращения реагента (выход продукта).
83	Гомогенные некаталитические процессы: термодинамические закономерности влияния концентраций реагентов, продуктов и инертных примесей на равновесие реакций.
84	Гетерогенные процессы: общая характеристика и особенности. Аппаратурное оформление гетерогенных некаталитических процессов в системе «газ-твердое тело», «газ-жидкость».
85	Кинетические закономерности гетерогенных процессов. Пути интенсификации гетерогенных процессов.
86	Гетерогенные некаталитические процессы «газ-твердое тело»: квазигомогенная модель, ее характеристика.
87	Гетерогенные некаталитические процессы в системе «газ-твердое тело»: модель с фронтальным перемещением зоны реакции, ее характеристика.
88	Сравнение эффективности работы химических реакторов, описываемых различными моделями (по выходу продукта).
89	Сравнение эффективности работы химических реакторов, описываемых различными моделями (по объему и интенсивности работы).
90	Сравнение эффективности работы химических реакторов, описываемых различными моделями (по селективности протекания целевой реакции).

5.3.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрены

5.3.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Определить потерю давления на трение при протекании воды по латунной трубе диаметром 19х2 мм длиной 10. Скорость воды 2 м/с. Температура 55° С. Шероховатость $\epsilon = 0,005$ мм.

Рассчитать плотность водной суспензии, содержащей 10% (масс.) твердой фазы. Относительная плотность твердой фазы 3.

Вывести формулу, по которой можно вычислить скорость центрифугирования твердых шарообразных частиц, исходя из закона Стокса. Частота вращения в об/сек.

5.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

5.4.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

5.4.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☐ + Письменная ☐ + Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

5.4.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

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.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				
Н. П. Мидуков, М. В. Колосова, В. С. Куров, А. О. Никифоров	Процессы и аппараты химической технологии. Испытание динамических насосов : Лабораторные работы.	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. - Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД	2021	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1621337400.pdf
Айнштейн В.Г. под ред.	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс : учебное пособие : в 2 кн. — 6-е изд.	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний	2017	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=359645
В. С. Куров, Н. П. Мидуков, Ю. А. Тихонов	Диспергирование бумажной массы и равномерность многослойного картона: монография	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики.— Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2024	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1707884762.pdf
Н. П. Мидуков, А. О. Никифоров, В. С. Куров	ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ. Расчёт ректификационной установки непрерывного действия. Выполнение курсовой работы :методические указания для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки: 18.03.01 – Химическая технология 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии 15.03.02 – Технологические машины и оборудование	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. школа технологии и энергетики.-Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2022	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1652483952.pdf
В. С. Куров, Н. П. Мидуков, Ю. А. Тихонов	Диспергирование бумажной массы и равномерность многослойного картона: монография	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики.— Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2024	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1707884762.pdf
Н. П. Мидуков, М. В. Колосова, В. С. Куров, А. О. Никифоров	Процессы и аппараты химической технологии. Испытание динамических насосов : Лабораторные работы.	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. - Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД	2021	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1621337400.pdf

Н. П. Мидуков, А. О. Никифоров, В. С. Куров	ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ. Расчёт ректификационной установки непрерывного действия. Выполнение курсовой работы :методические указания для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки: 18.03.01 – Химическая технология 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии 15.03.02 – Технологические машины и оборудование	М-во науки и высшего образования РФ, С-Петербург. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. школа технологии и энергетики.-Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2022	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/1652483952.pdf
---	---	---	------	---

6.1.2 Дополнительная учебная литература

Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров	Процессы и аппараты [Текст] : учебно-практическое пособие для выполнения лабораторных работ	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2016	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/3.pdf
Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров	Массообменные процессы в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст] : учеб.пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2015	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/2.pdf
О.А. Кокушкин, А.О. Никифоров, М.В. Завьялов	Ректификационная установка непрерывного действия [Текст] : Методические указания к расчету курсового проекта	М-во образования РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2007	http://nizrp.narod.ru/rectifustneprd.htm 17-77
Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров	Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учебно-практическое пособие для самостоятельной работы студентов	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2017	http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/4.pdf
Романков, П. Г., Фролов, В. Ф., Флисюк, О. М.	Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи)	Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ	2020	http://www.iprbookshop.ru/97815.html

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
3. Электронно-библиотечная система «Айбукс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/>

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

Microsoft: Windows Professional 10 Russian Upgrade OLPNL AcademicEdition

Microsoft: Office Standard 2016 Russian OLP NL AcademicEdition

AutoCADDesign

6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Б-203	Выпарная установка, установка для определения гидравлических сопротивлений; установка для исследования процесса разделения суспензии; установка для исследования кинетики фильтрования; установка по определения теплопередачи в теплообменнике; установка для определения параметров влажного воздуха; установка для процесса перемешивания.
Б-209	Напорная установка, установка гидравлических сопротивлений, ректификационная установка, установка роторно-пульсационная, установка для исследования процессов перемешивания в жидких средах, установка для исследования кинетики инфракрасной сушки.
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска