

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.25**

Процессы и аппараты химической технологии

Учебный план:

ФГОС3++b180301.12-1\_21-14.plx

Кафедра:

17

Процессов и аппаратов химической технологии

Направление подготовки

18.03.01 Химическая технология

(специальность)

Профиль подготовки:

Химическая технология органических веществ

(специализация)

Уровень образования:

бакалавриат

Форма обучения:

очная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) |     | Контактная работа обучающихся |                   |                 | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоёмко-<br>сть, ЗЕТ | Форма промежуточной аттес-<br>тации |
|---------------------------|-----|-------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------|
|                           |     | Лекции                        | Практ.<br>занятия | Лаб.<br>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 Министерства образования и науки Российской Федерации от 07.08.2020 г. № 922

Составитель (и):

Доктортехническихнаук, профессор

Доктортехническихнаук, 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.

Методическийотдел:

Смирнова В.Г.

## 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 механизмов типовых физических процессов
- изучение методов математического описания и расчета этих процессов
- изучение принципиальных аппаратов 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 с 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 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий   | Семестр (курс для ЗАО) | Контактная работа |            |             | СР (часы) | Инновац. формы занятий | Формат текущего контроля |
|---|------------------------|-------------------|------------|-------------|-----------|------------------------|--------------------------|
|   |                        | Лек. (часы)       | Пр. (часы) | Лаб. (часы) |           |                        |                          |
| Раздел 1. Основы гидравлики   |                        |                   |            |             |           |                        |                          |
| 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. | 5                      | 6                 |            |             | 0,8       |                        | Кo                       |

|  |  |   |  |   |     |  |  |
|--|--|---|--|---|-----|--|--|
| <p>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.</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>Лабораторная работа № 1 - Гидравлические сопротивления элементов напорного трубопровода.</p> |  | 6 |  | 8 | 0,8 |  |  |
|--|--|---|--|---|-----|--|--|

|  |  |   |  |   |     |  |    |
|--|--|---|--|---|-----|--|----|
| <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.</p> <p>Формулы пропорциональности.</p> <p>Насосы для перекачивания бумажной массы. Кавитация. Конструкции осевых, шестерчатых и диафрагмовых 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.</p> <p>Лабораторная работа № 2 – Исследование работы центробежных машин на гидравлическую сеть.</p> |  | 6 |  | 8 | 0,8 |  |    |
| <p>Раздел 2. Гидромеханические процессы неоднородных систем</p>  |  |   |  |   |     |  | Ko |

|  |  |   |  |    |     |  |  |
|--|--|---|--|----|-----|--|--|
| <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.</p> <p>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.</p> <p>Разделение под действием сил разности давления. Фильтрование суспензий. Фильтрующие перегородки. Скорость процесса фильтрования. Виды осадков (сжимаемые и несжимаемые). Максимальная производительность фильтров и их экономически оптимальная продолжительность цикла работы. Интегральное уравнение фильтрования, определение его констант. Фильтрование волокнистых суспензий. Фильтры (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. Очистка газов фильтрованием. Конструкции рукавного фильтра.</p> <p>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.).</p> <p>Технико-экономическая оценка аппаратов для очистки газов.</p> <p>Лабораторная работа № 3 – Исследование процесса разделения суспензий методом осаждения, Лабораторная работа № 4 – Исследование процесса разделения суспензий методом фильтрования.</p> |  | 8 |  | 12 | 0,8 |  |  |
|--|--|---|--|----|-----|--|--|

|  |    |     |    |      |     |    |  |
|--|----|-----|----|------|-----|----|--|
| <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.</p> <p>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.</p> <p>Интенсификация процессов перемешивания в целлюлозно-бумажной промышленности.</p> <p>Лабораторная работа № 5 - Расход энергии на перемешивание в жидких средах.</p> |    | 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  |    |     |    |      |     |    |  |
| <p>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.</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. Основы расчета теплообменников и оптимальных режимов их работы.</p> <p>Лабораторная работа № 6 – Определение коэффициента теплопередачи в теплообменнике типа труба в трубе.</p>  | 6  | 6   | 3  | 6    | 4,6 | Ko |  |



|  |  |   |   |   |     |  |    |
|--|--|---|---|---|-----|--|----|
| <p>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.</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> <p>Лабораторная работа № 7 – Определение основных показателей работы выпарного аппарата.</p> |  | 6 | 3 | 6 | 4,6 |  |    |
| <p>Раздел 4. Основы массопередачи</p>  |  |   |   |   |     |  | Ko |

|  |  |   |   |   |     |  |  |
|--|--|---|---|---|-----|--|--|
| <p>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.</p> <p>Кинетика массообменных процессов. Механизмы переноса массы – молекулярный и конвективный. Закон Фика.</p> <p>Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Уравнение массоотдачи. Коэффициенты массоотдачи. Движущая сила процесса. Подobie 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. Аналогия между процессами тепло- и массопереноса. Общие методы интенсификации процессов массопередачи. Роль и значение гидродинамики процесса.</p> <p>Лабораторная работа № 8 - Определение основных параметров влажного воздуха и графоаналитический расчет процесса конвективной сушки.</p> |  | 6 | 5 | 6 | 4,6 |  |  |
|--|--|---|---|---|-----|--|--|

|  |  |   |   |   |     |  |  |
|--|--|---|---|---|-----|--|--|
| <p>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.</p> |  | 8 | 4 | 8 | 4,6 |  |  |
|--|--|---|---|---|-----|--|--|

|   |   |     |    |    |      |  |   |
|---|---|-----|----|----|------|--|---|
| <p>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.</p> <p>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).</p> <p>Лабораторная работа № 10 – Изучение процесса простой перегонки двухкомпонентной смеси спирт-вода.</p> |   | 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   |   |     |    |    |      |  |   |
| <p>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.</p>  | 7 | 4   | 6  |    | 0,62 |  | 3 |
| <p>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.</p>   |   | 6   | 6  |    | 0,62 |  |   |

|  |  |   |   |  |      |  |   |
|--|--|---|---|--|------|--|---|
| <p>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.</p>  |  | 6 | 6 |  | 0,62 |  |   |
| <p>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.</p> |  | 6 | 6 |  | 0,62 |  |   |
| <p>Раздел 6. Сравнение и выбор химического реактора</p>  |  |   |   |  |      |  |   |
| <p>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.</p>                            |  | 6 | 6 |  | 0,62 |  | 3 |
| <p>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.</p>  |  | 6 | 4 |  | 0,65 |  |   |

|   |  |        |    |  |       |  |  |
|---|--|--------|----|--|-------|--|--|
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)               |  | 34     | 34 |  | 3,75  |  |  |
| Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)   |  | 0,25   |    |  |       |  |  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b> |  | 226,25 |    |  | 97,75 |  |  |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**4.1 Цели задачи курсовой работы (проекта):** Обучению студентов методик расчета и проектирования комплексов химических аппаратов, составляющих установку для проведения одного из массообменных процессов. Для определения конструкции, размеров выбора параметров нормальных аппаратов, составляющих установку, необходимо, как правило, произвести расчет гидромеханических, тепловых массообменных процессов в указанной аппаратуре с использованием компьютера. Это позволяет закрепить теоретические знания студента по процессам и аппаратам химической технологии, привить ему практические навыки проектирования и использования вычислительной техники и подготовить студента к курсовому проектированию по специальности 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. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения  | Наименование оценочного средства   |
|-----------------|---|--|
| ОПК-4           | Демонстрирует знания современных методов математического моделирования технологических процессов и аппаратов химической технологии. Основные модели структуры потоков теплообменных и массообменных процессов.<br>Использует численные методы для решения математических задач, языки и системы программирования для решения профессиональных задач;<br>Осуществляет идентификацию параметров математической модели, моделирование процессов химической технологии, промышленной экологии.<br>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 | 1. Вопросы устного собеседования.<br>2. Практико-ориентированные задания.<br>3. Курсовая работа. |

##### 5.1.2 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 | Полное и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов проекта соответствует требованиям, содержание полностью соответствует |

|                         |  |  |
|-------------------------|--|--|
|                         | дополнительной литературой. Целеустремленно использует и применяет базовые знания в области физико-математических наук. Проявляет эрудицию при работе  | 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   | 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   | 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              | 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 |  |
| Незачтено               | 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   |  |

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

| № п/п     | Формулировка вопросов  |
|-----------|--|
| Семестр 5 |  |
| 1         | Интенсификация процессов перемешивания.                                    |
| 2         | Расчет мощности, потребляемой мешалкой.                                    |
| 3         | Перемешивание, движущая сила. Эффективность и интенсивность перемешивания. |

|           |  |
|-----------|--|
| 4         | Расчет скорости псевдооживления и скорости уноса.  |
| 5         | Кривая псевдооживления.  |
| 6         | Псевдооживление и его гидродинамика.   |
| 7         | Аппараты для мокрой очистки.   |
| 8         | Очистка газов под действием центробежных сил.  |
| 9         | Пути повышения производительности фильтрующих аппаратов.   |
| 10        | Конструкции фильтров и их сравнительный анализ.  |
| 11        | Определение констант фильтрования.   |
| 12        | Фильтрование и скорость процесса фильтрования, фильтрующие перегородки.  |
| 13        | Конструкции отстойников и их расчет.   |
| 14        | Расчет скорости свободного осаждения частиц. Скорость стесненного осаждения.                                       |
| 15        | Осаждение в поле сил тяжести.  |
| 16        | Классификации и методы разделения неоднородных систем.   |
| 17        | Перемещение и сжатие газов. Индикаторная диаграмма.  |
| 18        | Работа насоса на сеть, рабочая точка.  |
| 19        | Основное уравнение центробежных машин Эйлера.  |
| 20        | Центробежные насосы: устройства и принцип действия.  |
| 21        | Поршневые и плунжерные насосы простого и двойного действия.  |
| 22        | Высота всасывания.   |
| 23        | Напор и производительность насосов. Мощность и коэффициент полезного действия.                                     |
| 24        | Классификация насосов.   |
| 25        | Критерии гидродинамического подобия и их физический смысл.   |
| 26        | Гидравлический радиус и эквивалентный диаметр.   |
| 27        | Потери напора по длине и на местных сопротивлениях.  |
| 28        | Уравнение Бернулли для идеальных жидкостей.  |
| 29        | Расход жидкости и газа.  |
| 30        | Режимы движения жидкостей. Число Рейнольдса.   |
| 31        | Вязкость жидкостей. Закон вязкого трения Ньютона.  |
| 32        | Гидростатика. Основное уравнение гидростатики и его практическое использование.                                    |
| 33        | Жидкости. Понятия идеальной и реальной жидкости.   |
| 34        | Движущая сила процессов и процессы переноса.   |
| 35        | Материальный и тепловой балансы процессов.   |
| 36        | Классификация процессов.   |
| 37        | Основные понятия и определения в процессах и аппаратах.  |
| Семестр 6 |  |
| 38        | Теплопередача. Опытное уравнение. Коэффициент теплопередачи.   |
| 39        | Элементарные и сложные механизмы переноса тяжести.   |
| 40        | Конвекция и теплоотдача. Физический смысл.   |
| 41        | Тепловое подобие. Основные критерии теплового подобия. Определяющие и определяемые критерии.                       |
| 42        | Интенсификация теплообменных процессов.  |
| 43        | Теплообменные аппараты, классификация и выбор по ГОСТам.   |
| 44        | Рекуперативные теплообменники: кожухотрубные, спиральные и пластинчатые.   |
| 45        | Основы расчетов теплообменников.   |
| 46        | Выпаривание. Методы выпаривания. Выпарка под вакуумом.   |
| 47        | Однократное выпаривания. Материальный и тепловой балансы.  |
| 48        | Многokратное выпаривание и схемы многокорпусных выпарных установок.  |
| 49        | Материальный и тепловой балансы многокорпусных выпарных установок.   |
| 50        | Общая и полезная разности температур. Температурные потери.  |
| 51        | Особенности теплопередачи в выпарных аппаратах. Скрытая теплота конденсации.                                       |
| 52        | Выпарные аппараты и их классификация.  |
| 53        | Использование выпарных аппаратов, их выбор и сравнительная характеристика. Подбор аппаратов по каталогам и ГОСТам. |
| 54        | Классификация массообменных процессов. Общие закономерности переноса вещества и энергии.                           |
| 55        | Направление процессов массопереноса, их обратимость. Кинетика массообменных процессов.                             |
| 56        | Механизмы переноса массы – молекулярный и конвективный. Закон Фика.  |



|           |  |
|-----------|--|
| 57        | Уравнение конвективной диффузии и уравнение массоотдачи. Движущая сила процесса.   |
| 58        | Критерии диффузионного подобия и их физический смысл.  |
| 59        | Массопередача и её основное уравнение. Коэффициенты массопередачи и их связь с коэффициентами массоотдачи.   |
| 60        | Гидравлика в массообменных процессах.  |
| 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 с 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).  |

## 5.2.2 Типовые тестовые задания

Непредусмотрены

## 5.2.3 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.

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 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»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная

Письменная

Компьютерное тестирование

Иная

### 5.3.3 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  |
|--|--|--|-------------|---|
| <b>6.1.1 Основная учебная литература</b>       |  |  |             |   |
| 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        | <a href="http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=359645">http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=359645</a> |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |  |  |             |   |
| 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        | <a href="http://nizrp.narod.ru/rectifustneprd.htm">http://nizrp.narod.ru/rectifustneprd.htm</a> 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        | <a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/4.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/4.pdf</a>                           |
| 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        | <a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/3.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/3.pdf</a>                           |
| Романков, П. Г., Фролов, В. Ф., Флисюк, О. М.  | Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи)  | Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ  | 2020        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/97815.html">http://www.iprbookshop.ru/97815.html</a>   |
| 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        | <a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/2.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/2.pdf</a>                           |

## 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 определению 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.  |
| Лекционнаяаудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска   |
| Учебнаяаудитория    | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска   |