

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор

по учебной работе БГТУ

\_\_\_\_\_ А. А. Сакович

\_\_\_\_\_

Регистрационный № УД - 1301 /уч

**Процессы и аппараты химической технологии**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1–48 01 02 Химическая технология органических веществ,  
материалов и изделий**

2019 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1–48 01 02 – 2019 и учебных планов: рег. № 48 – 1 – 005/пр.-уч, утвержден 29.06.2018; рег. № 48 – 1 – 009/пр.-уч, утвержден 29.06.2018; рег. № 48 – 1 – 016-С/пр.-уч, утвержден 28.06.2019; рег. № 48 – 1 – 017–С/пр.-уч, утвержден 28.06.2019.

## **СОСТАВИТЕЛИ:**

Н. П. Саевич, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук;

Д. Г. Калишук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент

## **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

В. Я. Груданов, профессор кафедры технологии и технического обеспечения процессов переработки учреждения образования «Белорусский государственный аграрно-технический университет», доктор технических наук, профессор;

В. Н. Фарафонов, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент

## **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», (протокол № 3 от 27 ноября 2019 г.);

Методической комиссией факультета химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 4 от 17.12.2019 г.);

Учебно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 3 от 30.12.2019 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цель преподавания дисциплины и ее задачи

Цель дисциплины – подготовка инженеров-химиков-технологов для последующей успешной профессиональной деятельности за счет приобретения знаний в области основных, наиболее типовых процессов и аппаратов химической технологии. Эти знания в первую очередь необходимы для понимания и решения вопросов технологического характера.

#### **Задачи учебной дисциплины:**

– приобретение знаний в области теории типовых процессов и аппаратов химической технологии, основ методик их расчета, анализа и моделирования, в том числе при синтезе технических, инженерных и экономических задач;

– получение и формирование первичных навыков решения конкретных прикладных задач в области процессов и аппаратов химической технологии, а также формирование навыков технологического проектирования аппаратов и установок;

– изучение теоретических и прикладных принципов, освещающих устройство, методы расчетов и исследований химико-технологических аппаратов и установок;

– овладение методами расчетов, проектирования, анализа, исследований и усовершенствования процессов и аппаратов химической технологии;

– приобретение первичных навыков по управлению процессами, аппаратами и установками химической технологии.

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» формируются следующие специальные компетенции:

**СК-3:** Быть способным применять методы расчета процессов и аппаратов химических производств.

Вышеперечисленные цели и задачи дисциплины реализуются на лекциях, практических и лабораторных занятиях. Завершающей стадией изучения дисциплины является выполнение курсового проекта. Оно преследует цель закрепить у студентов полученные знания по практическому расчету и технологическому проектированию аппаратов и установок.

### **Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием, ее связи с другими учебными дисциплинами**

Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии», изучаемая при подготовке инженеров-химиков-технологов, по своему содержанию является специальной. По сущности для студентов специальностей 1–48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» данная дисциплина является фундаментальной общеинженерной. Она дает возможность приобрести знания о теоретических основах химической технологии, типовых химико-технологических процессах и аппаратах, основах методов их расчета и моделирования. Теоретические и практические основы дис-

циплины связаны с анализом, математическим описанием различных явлений, решением прикладных задач, расчетом и моделированием процессов и аппаратов химической технологии.

Для овладения дисциплиной «Процессы и аппараты химической технологии» необходимы знания таких дисциплин, как «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы химии», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Теплотехника», «Прикладная механика», «Информатика и компьютерная графика», «Инженерная и машинная графика».

При последующем обучении студентов материалы дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» будут востребованы при изучении дисциплин «Общая химическая технология», «Энергосбережение и энергетический менеджмент», «Автоматика, автоматизация и автоматизированные системы управления технологическими процессами», «Оборудование и основы проектирования предприятий подотрасли», «Химия и технология переработки нефти и газа», «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов», «Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза». Кроме того знания процессов и аппаратов химической технологии необходимы при прохождении производственной технологической и преддипломной практики, при сдаче государственного экзамена по специальности, при анализе и разработке технологических вопросов в дипломных проектах (работах) и их защите.

### **Требования к усвоению учебной дисциплины**

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» студент должен:

#### ***знать:***

- теоретические основы и назначение важнейших технологических процессов, используемых в химической и смежных с ней отраслях промышленности;
- устройство и принципы работы основных аппаратов и установок для проведения химических технологических процессов;
- современные технологии и аппараты для осуществления химико-технологических процессов;
- основные методы моделирования, расчета и оптимизации процессов и аппаратов;
- пути и способы технического усовершенствования действующих установок и аппаратов с целью повышения их производительности и технико-экономических показателей;
- пути совершенствования вновь разрабатываемых химических технологий и техники;

#### ***уметь:***

- применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;

- решать конкретные инженерно-технологические задачи путем анализа, расчета, моделирования и оптимизации процессов и аппаратов, а также проводить исследования, обработку экспериментальных данных и использовать результаты научно-исследовательских работ для обновления и усовершенствования технологических линий;

- рационально организовывать технологическую последовательность переработки сырья получения готового продукта;

- профессионально обращаться с технологическими аппаратами при строгом соблюдении правил безопасности проведения процессов;

- анализировать закономерности протекания основных процессов;

- оценивать соответствие проектных решений поставленным технологическим целям;

- осуществлять комплексный подход к решению технологических проблем;

- применять энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии;

***владеть:***

- методами моделирования и оптимизации процессов и аппаратов химической технологии;

- методами управления и контроля важнейших технологических параметров основных процессов и аппаратов химической технологии;

- методами пересчета результатов экспериментальных исследований в применении к промышленным процессам и аппаратам;

- умением использовать отраслевую научно-техническую информацию для решения задач устойчивого развития производственных подразделений предприятия (организации), выпуска качественной конкурентноспособной и экологически безопасной продукции, внедрения оптимизированных по технологическим и экономическим параметрам технологий;

- основными способами применения эффективной организации и рационального обслуживания производственных технологических процессов;

- междисциплинарным подходом для решения проблем.

## Объем и структура дисциплины. Формы текущей аттестации

Таблица 1 – План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1 – 48 01 02	Химическая технология органических веществ, материалов и изделий	2, 3	4,5, 6	360	11	192	102	56	34	-	40	Зачеты, экзамены, защита курс. проекта
		2	4	160	4	90	54	18	18	-	-	Зачет, экзамен
		3	5	200	6	102	48	38	16	-	-	Зачет, экзамен
		3	6	-	1	-	-	-	-	-	40	Защита курс. проекта

### Объем и структура дисциплины. Формы текущей аттестации

Таблица 2 – План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1 – 48 01 02	Химическая технология органических веществ, материалов и изделий	2, 3	4,5, 6	292	9	76	16	12	8	–	40	Зачеты, экзамены, защита курс. проекта
		2	4	4	-	4	4	-	-	-	-	-
		3	5	144	4	18	6	6	6	-	-	Зачет, экзамен
		3	6	144	4 1	54	6	6	2	-	40	Зачет, экзамен, Защита курс. проекта

## 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### ВВЕДЕНИЕ

Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке инженеров-химиков-технологов. Классификация химико-технологических процессов и аппаратов.

Общие принципы расчета процессов и аппаратов. Материальные и энергетические балансы. Движущая сила процессов переноса. Основной кинетический закон явлений переноса.

Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Математическое моделирование. Физическое моделирование.

### РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

#### *Тема 1.1. Основы технической гидравлики*

Классификация жидкостей в гидравлике. Физические свойства жидкостей и газов и параметры их состояния.

Гидростатика. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера. Основное уравнение гидростатики и его практическое применение.

Гидродинамика и ее основные задачи. Характеристики потока жидкости. Уравнения массового и объемного расходов. Основные уравнения гидродинамики: дифференциальное уравнение движения Эйлера, неразрывности потока, Навье – Стокса. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкостей. Практическое применение уравнений Бернулли (устройства для измерения расхода жидкости, давлений и скоростей). Режимы движения жидкостей. Структура потоков, распределение локальных скоростей в них.

Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия и ее значение в научной и инженерной практике. Условия и теоремы подобия. Критерии гидродинамического подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания движения потоков и гидромеханических процессов.

Потери давления в трубопроводах. Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Обоснование оптимального диаметра трубопровода. Регулирующая и запорная арматура.

#### *Тема 1.2. Перемещение жидкостей и газов*

Машины для перемещения жидкостей и газов, их классификация.

Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов.

Определение напора насоса и допустимой высоты всасывания. Явление кавитации.

Центробежные насосы. Их устройство и принцип действия.

Взаимодействие насоса и трубопроводной сети, рабочая точка. Совместная работа насосов на сеть.

Основное уравнение центробежных машин. Законы пропорциональности.

Типовые и современные конструкции насосов (поршневые, плунжерные, мембранные, пластинчатые, осевые и др.), их принцип действия и области применения.

Компрессорные машины. Их классификация. Радиальные и осевые вентиляторы. Поршневые компрессоры и особенности их работы. Мощность, потребляемая компрессором. Турбокомпрессоры. Вакуумные насосы.

### ***Тема 1.3. Гидродинамика гетерогенных систем.***

Классификация гетерогенных систем, их роль и место в технологических процессах.

Движение тел в жидкости. Расчет сил сопротивления при движении тела в жидкости. Состояние динамического равновесия при осаждении тела под действием силы тяжести. Методы расчета скорости осаждения в условиях динамического равновесия.

Характеристики слоя зернистого материала. Движение потока через зернистый слой. Состояния зернистого слоя (неподвижное, псевдооживленное, уноса). Гидравлическое сопротивление неподвижного и псевдооживленного зернистых слоев. Расчет основных параметров псевдооживленного зернистого слоя. Пневмо- и гидротранспорт материалов.

Методы диспергирования жидкостей и газов и устройства для осуществления процессов (форсунки, распылители, барботеры, сопла).

### ***Тема 1.4. Гидромеханическое разделение гетерогенных систем***

Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения. Материальный баланс процесса разделения.

Осаждение под действием сил тяжести. Основные положения расчета отстойников. Типовые и современные конструкции отстойников.

Фильтрация. Движущая сила процесса и методы ее создания. Механизмы процесса фильтрации. Классификация осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации. Модифицированное уравнение фильтрации при постоянном перепаде давлений, константы фильтрации. Классификация фильтров, их типовые и современные конструкции. Основы расчета фильтров.

Разделение под действием инерционных сил. Центробежный фактор разделения. Циклоны для очистки газов и гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг.

Мокрая очистка газов. Конструкции скрубберов-пылеуловителей.

Электрическая очистка газов. Конструкции электрофильтров.

### ***Тема 1.5. Перемешивание в жидких средах***

Назначение и роль процессов перемешивания. Способы перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность привода мешалки, ее расчет.

## РАЗДЕЛ 2. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

### *Тема 2.1. Основы теории теплообмена*

Роль тепловых процессов в химической промышленности.

Механизмы переноса тепла. Тепловые балансы. Движущая сила теплообмена.

Перенос тепла теплопроводностью. Дифференциальное уравнение переноса тепла Фурье. Уравнение закона Фурье. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок при установившемся теплообмене.

Перенос тепла конвекцией. Естественная и вынужденная конвекция. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла (уравнение Фурье-Кирхгофа). Уравнение теплоотдачи.

Тепловое подобие. Критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания теплообменных процессов.

Теплоотдача при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости. Лучистый и сложный теплообмен.

Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Движущая сила теплопередачи (средняя разность температур), расчет ее средней величины. Основы расчета теплопередачи при нестационарном теплообмене.

### *Тема 2.2. Промышленные теплоносители и методы их использования*

Классификация теплоносителей. Требования, предъявляемые к теплоносителям.

Основные греющие теплоносители (топочные газы, водяной пар, горячая вода) и способы их использования.

Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух) и способы их использования.

Специальные греющие и охлаждающие теплоносители.

### *Тема 2.3. Теплообменные аппараты*

Классификация теплообменных аппаратов.

Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые и др.). Смесительные теплообменники. Современные теплообменные аппараты.

Интенсификация теплообмена в аппаратах. Выбор теплообменников. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников.

### *Тема 2.4. Выпаривание*

Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения раствора, депрессии. Тепловой баланс выпарного аппарата. Удельный расход

греющего пара на выпаривание. Полезная разность температур при выпаривании. Порядок расчета выпарного аппарата.

Одно- и многокорпусные выпарные установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки.

Классификация выпарных аппаратов, их типовые и современные конструкции.

### **РАЗДЕЛ 3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**

#### ***Тема 3.1. Основы массопередачи***

Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности.

Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (аппарата).

Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Законы Фика. Конвективный перенос вещества. Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.

Уравнение массоотдачи. Основные критерии диффузионного подобия. Применения теории диффузионного подобия для описания и расчетов массообменных процессов.

Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Взаимосвязь коэффициентов массопередачи с коэффициентами массоотдачи. Движущая сила массопередачи, расчет ее средней величины.

Основы расчета массообменных аппаратов. Общие положения и порядок расчетов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием основного уравнения массопередачи. Определение высоты аппарата через число и высоту единиц переноса. Степень изменения концентрации, теоретическая ступень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.

#### ***Тема 3.2. Абсорбция***

Общие сведения об абсорбции, ее роль и место в химической технологии. Равновесие при абсорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления. Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера. Скорость абсорбции и пути ее интенсификации. Принципиальные схемы абсорбционно-десорбционных установок.

Классификация абсорберов. Типовые и современные конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.). Виды насадок, их характеристики и выбор. Конструкции массообменных тарелок для абсорбционных аппаратов. Порядок расчета абсорбера.

#### ***Тема 3.3. Перегонка и ректификация***

Общая характеристика процессов, их место и роль в химической технологии. Равновесие в системе пар – жидкость.

Простая перегонка. Ее материальный баланс. Перегонка с дефлегмацией. Молекулярная дистилляция. Перегонка с водяным паром.

Ректификация. Установки для непрерывной и периодической ректификации бинарной смеси. Материальный баланс непрерывной бинарной ректификации. Уравнения рабочих линий бинарной ректификации. Основные уравнения теплового баланса ректификационной установки. Расчет минимального и обоснование рабочего флегмовых чисел. Конструкции ректификационных колонн. Специальные виды ректификации и установки для их проведения. Порядок расчета ректификационной колонны и установки.

### ***Тема 3.4. Термическая сушка***

Общая характеристика процесса, его роль и место в химических производствах.

Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и обоснование способов удаления влаги из материалов.

Конвективная сушка. Сушительные агенты и их выбор. Параметры состояния сушильного агента,  $I$ - $x$ -диаграмма влажного воздуха. Механизмы переноса влаги при сушке, кинетика процесса. Движущая сила сушки. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Теоретическая и действительная сушилки. Отображение изменения параметров сушильного агента на  $I$ - $x$ -диаграмме. Последовательность расчета конвективной сушилки.

Классификация сушилок и сушильных установок. Типовые и современные конструкции конвективных сушилок (барабанная, камерная, кипящего слоя и др.). Специальные сушилки (радиационные, контактные, сублимационные). Пути совершенствования сушилок.

### ***Тема 3.5. Адсорбция***

Общие сведения о процессе и областях его применения. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Материальный баланс адсорбции. Динамика и кинетика адсорбции. Десорбция и способы ее проведения. Конструкции адсорберов (с неподвижным, псевдооживленным и плотным движущимся слоем).

### ***Тема 3.6. Ионный обмен***

Характеристика процесса и ионитов. Равновесие при ионном обмене. Динамика ионного обмена. Ионообменные установки.

### ***Тема 3.7. Жидкостная экстракция***

Общие сведения о процессе и его практическом применении. Методы жидкостной экстракции. Равновесие в системе жидкость-жидкость. Материальный баланс процесса. Основные схемы проведения экстракции. Массопередача при экстракции. Классификация экстракторов, их конструкции (колонные гравитационные распылительные и насадочные, ступенчатые и др.).

***Тема 3.8. Растворение и экстрагирование в системе твердое тело – жидкость***

Общие сведения о процессах и областях их применения. Равновесие при растворении и кинетика процесса. Экстрагирование жидкого вещества из твердого тела. Экстрагирование твердого вещества. Кинетика экстрагирования. Способы экстрагирования и растворения. Конструкции экстракторов и растворителей.

***Тема 3.9. Кристаллизация из растворов и расплавов***

Общие сведения о процессах и их применении. Кристаллизация из растворов. Равновесие при кристаллизации. Материальный и тепловой баланс кристаллизации. Кинетика кристаллизации. Классификация кристаллизаторов и их конструкции.

***Тема 3.10. Мембранные процессы***

Общие сведения о процессах и областях их применения. Классификация и характеристика мембранных процессов (баромембранных, диффузионно-мембранных, электромембранных, ультра- и микрофльтрации) и мембран. Конструкции мембранных аппаратов.

## **РАЗДЕЛ 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

***Тема 4.1. Измельчение твердых материалов***

Теории измельчения. Методы измельчения. Степень измельчения. Методы помола. Классификация машин для измельчения. Основные конструкции дробилок (щековые, конусные, валковые, молотковые) и мельниц (барабанные шаровые, стержневые и трубчатые, вибрационные, струйные и коллоидные).

***Тема 4.2. Классификации и сортировка твердых материалов***

Грохочение. Конструкции грохотов. Пневматические и гидравлические классификаторы.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Целями и задачами курсового проекта по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» является:

- закрепление теоретических знаний, полученных студентом на лекциях и в процессе самостоятельной работы с литературой и другими источниками информации;

- углубление знаний по отдельным темам и теоретическим и прикладным вопросам процессов и аппаратов производства медицинских препаратов и смежных производств;

- выработка навыков углубленной самостоятельной работы с литературой и иными источниками информации, в том числе, с каталогами, стандартами, специальными справочниками;

- приобретения навыков выполнения технологических и конструктивных расчетов аппаратов и установок с выбором и элементами оптимизации режимов их работы, разработки технологических схем установок;

- приобретение навыков выполнения чертежей общего вида отраслевого оборудования и чертежей технологических схем типовых установок;

- приобретение навыков самостоятельно принимать технологические и конструкторские решения;

- подготовка студентов к дальнейшему специальному обучению, производственным практикам и дипломному проектированию.

Основная масса курсовых проектов, выполняемых студентами, должна представлять самостоятельные проектные разработки по одной из типовых тем дисциплины. Отдельные курсовые проекты могут выполняться в виде научно-исследовательской работы.

Типовая тема курсового проекта предусматривает разработку (технологическое проектирование) одной из наиболее распространенных в химических производствах технологических установок (абсорбционной, выпарной, ректификационной или сушильной). В целом проект охватывает несколько разделов дисциплины, т. к. установка, как правило, включает в свой состав массообменное, теплообменное и гидромеханическое оборудование. Для основного аппарата установки выполняются подробные технологические и конструктивные расчеты. Для вспомогательной аппаратуры выполняются ориентировочные технологические расчеты. Для всего комплекса аппаратуры при необходимости осуществляется подбор его по каталогам, стандартам, альбомам типовых конструкций, справочникам. При выполнении курсового проекта используются знания, полученные студентом при изучении других дисциплин, в первую очередь таких как «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы химии», «Физическая химия», «Теплотехника», «Прикладная механика», «Информатика и компьютерная графика», «Инженерная и машинная графика».

Пояснительная записка курсового проекта по типовой тематике должна содержать следующие основные разделы:

- описание и обоснование технологической схемы установки;

- описание конструкции и принципа действия основного аппарата установки;
- описание вспомогательного оборудования установки;
- подробный технологический и конструктивный расчет основного аппарата установки;
- подбор вспомогательного оборудования установки.

Пояснительная записка может быть дополнена разделом по заданию руководителя проекта.

Графическая часть курсового проекта по типовой тематике включает:

- чертеж технологической схемы установки, один лист формата А1;
- чертеж общего вида основного аппарата установки (выпарного аппарата, абсорбера, ректификационной колонны или сушилки), один лист формата А1.

Как указано ранее, отдельные курсовые проекты могут иметь научно-исследовательский характер. Тематика и содержание таких проектов в каждом случае имеют индивидуальный характер, который определяется руководителем. Курсовые проекты научно-исследовательской направленности выполняются либо одним студентом индивидуально, либо несколькими, составляющими творческую группу. Курсовой проект научно-исследовательской направленности, как правило, должен содержать аналитический обзор по разрабатываемой проблеме.

Оформление записки регламентируется СТП 001-2019 и СТП 002-2007.

Чертежи должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Основные надписи в пояснительной записке и на чертежах заполнены в соответствии с требованиями СТП 002-2007.

График выполнения курсовых проектов с указанием примерной трудоемкости этапов представлен в таблице 3.

**Таблица 3 – Примерный график выполнения курсовых проектов**

№№ п.п.	Наименование этапа	Продолжительность этапа	Трудоемкость
1	Подробный расчет основного аппарата	6 недель	40 %
2	Расчет и подбор вспомогательного оборудования	2 недели	15 %
3	Обоснование и описание установки. Описание основного аппарата и вспомогательного оборудования	1 неделя	10 %
4	Оформление пояснительной записки	2 недели	10 %
6	Выполнение графической части	4 недели	25 %
7	Подготовка к защите и защита проекта	2 недели	

В ходе курсового проектирования руководителем проекта могут проводиться групповые занятия (групповые консультации) по ниже приведенным темам.

1. Выдача задания. Структура и содержание проекта.
2. Методики расчета и подбора теплообменных аппаратов.
3. Методики расчета и подбора абсорберов и ректификационных колонн.
4. Методики расчета и подбора сушилок.
5. Методики расчета и подбора вспомогательного оборудования тепло- и массообменных установок.
6. Требования к оформлению пояснительной записки.
7. Содержание описательных разделов записки.
8. Правила оформления чертежей общего вида.
9. Правила оформления чертежей технологических схем.
10. Порядок подготовки проекта к защите и порядок его защиты.

На курсовое проектирование согласно действующим учебным планам отводится:

для студентов специальности 1–48 01 02 (дневная форма получения высшего образования) – 40 часов;

для студентов специальности 1–48 01 02 (заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) – 40 часов.

Примерный перечень типовых тем курсовых проектов.

1. Рассчитать и спроектировать выпарную установку.
2. Рассчитать и спроектировать абсорбционную установку
3. Рассчитать и спроектировать ректификационную установку.
4. Рассчитать и спроектировать сушильную установку.

Несмотря на то, что в перечень входит только четыре темы, реальная тематика заданий по курсовому проекту является очень широкой. Например, выпарные установки могут быть одно- и многокорпусными с различным числом корпусов, могут оснащаться выпарными аппаратами различных типов и конструкций, работать под различным давлением, использоваться для выпаривания различных растворов с различными свойствами и концентрациями, иметь различную производительность и т.д.

### 3.1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		ЛК	ЛЗ	ПЗ		
1	2	3	4	5	6	7
	<b>4 СЕМЕСТР</b>	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>70</b>	
	<p><b>ВВЕДЕНИЕ</b> Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке инженеров-химиков-технологов. Классификация химико-технологических процессов и аппаратов. Общие принципы расчета процессов и аппаратов. Материальные и энергетические балансы. Движущая сила процессов переноса. Основной кинетический закон. Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Математическое моделирование. Физическое моделирование.</p>	<b>4</b>	–	–	<b>1</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация
<b>1</b>	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>50</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>69</b>	
<b>1.1</b>	<p><b>Основы технической гидравлики</b> 1.1.1. Классификация жидкостей в гидравлике. Физические свойства жидкостей и газов и параметры их состояния. 1.1.2. Гидростатика. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера. Основное уравнение гидростатики и его практическое применение. 1.1.3. Гидродинамика и ее основные задачи. Характеристики потока жидкости. Уравнения массового и объемного расходов. Основные уравнения гидродинамики: дифференциальное уравнение движения Эйлера, неразрывности потока, Навье – Стокса. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкостей. Практическое применение уравнений Бернулли (устройства для измерения расхода жидкости, давлений и скоростей).</p>	<b>20</b> 2 2 2 2 2	<b>4<sup>1</sup></b> – – 2 <sup>1</sup> 2 <sup>1</sup>	<b>8</b> 2 2 2	<b>28</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
<b>Примечание <sup>1</sup> – по указанию преподавателя выполняется лабораторная работа по теме либо «1.1.3», либо по теме «1.1.4».</b>						

1	2	3	4	5	6	7
	<p>1.1.4. Режимы движения жидкостей. Структура потоков, распределение локальных скоростей в них.</p> <p>1.1.5. Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия и ее значение в научной и инженерной практике. Условия и теоремы подобия. Критерии гидродинамического подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания движения потоков и гидромеханических процессов.</p> <p>1.1.6. Потери давления в трубопроводах. Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода.</p> <p>Обоснование оптимального диаметра трубопровода. Регулирующая и запорная арматура.</p>	2	2 <sup>1</sup> 2 <sup>1</sup>	–		
		2	–	–		
		2	2 <sup>1</sup> 2 <sup>1</sup>	2		
		2				
<b>1.2</b>	<p><b>Перемещение жидкостей и газов</b></p> <p>1.2.1. Машины для перемещения жидкостей и газов, их классификация. Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов. Определение напора насоса и допустимой высоты всасывания. Явление кавитации.</p> <p>1.2.2. Центробежные насосы. Их устройство и принцип действия. Взаимодействие насоса и трубопроводной сети, рабочая точка. Совместная работа насосов на сеть. Основное уравнение центробежных машин. Законы пропорциональности.</p> <p>1.2.3. Типовые и современные конструкции насосов (поршневые, плунжерные, мембранные, пластинчатые, осевые и др.), их принцип действия и области применения.</p> <p>1.2.4. Компрессорные машины. Их классификация. Радиальные и осевые вентиляторы. Поршневые компрессоры и особенности их работы. Мощность, потребляемая компрессором. Турбокомпрессоры. Вакуумные насосы.</p>	<b>10</b> 3	<b>4<sup>2</sup></b> –	<b>2</b> –	<b>14</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
		3	2 <sup>2</sup> 2 <sup>2</sup>	2		
		2	–	–		
		2	2 <sup>2</sup> 2 <sup>2</sup>	–		
<b>1.3</b>	<p><b>Гидродинамика гетерогенных систем</b></p> <p>1.3.1. Классификация гетерогенных систем, их роль и место в технологических процессах. Движение тел в жидкости. Расчет сил сопротивления при движении тела в жидкости. Состояние динамического равновесия при осаждении тела под действием силы тяжести. Методы расчета скорости осаждения в условиях динамического равновесия.</p>	<b>6</b> 2	<b>5<sup>3</sup></b> 2 <sup>3</sup> 2 <sup>3</sup> 1 <sup>3</sup>	<b>2</b> –	<b>8</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
<p><b>Примечания:</b> <sup>2</sup> – по указанию преподавателя выполняется лабораторная работа по теме либо «1.2.2», либо по теме «1.2.4»;</p> <p><sup>3</sup> – по указанию преподавателя выполняется лабораторная работа по теме либо «1.3.1», либо по теме «1.3.2»;</p>						



	<b>5 СЕМЕСТР</b>	<b>48</b>	<b>38</b>	<b>16</b>	<b>98</b>	
<b>2</b>	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>36</b>	
<b>2.1</b>	<p><b>Основы теории теплообмена</b></p> <p>2.1.1. Роль тепловых процессов в химической промышленности. Механизмы переноса тепла. Тепловые балансы. Движущая сила теплообмена. Перенос тепла теплопроводностью. Дифференциальное уравнение переноса тепла Фурье. Уравнение закона Фурье. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок при установившемся теплообмене.</p> <p>Перенос тепла конвекцией. Естественная и вынужденная конвекция. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла (уравнение Фурье-Кирхгофа). Уравнение теплоотдачи.</p> <p>Тепловое подобие. Критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания теплообменных процессов.</p> <p>2.1.2. Теплоотдача при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости. Лучистый и сложный теплообмен.</p> <p>2.1.3. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Движущая сила теплопередачи (средняя разность температур), расчет ее средней величины. Основы расчета теплопередачи при нестационарном теплообмене.</p>	<p><b>8</b></p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p>	<p>–</p> <p>–</p> <p>–</p> <p>–</p> <p>–</p>	<p><b>4</b></p> <p>2</p> <p>1</p> <p>1</p>	<b>16</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ
<b>2.2</b>	<p><b>Промышленные теплоносители и методы их использования</b></p> <p>2.2.1. Классификация теплоносителей. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Основные греющие теплоносители (топочные газы, водяной пар, горячая вода) и способы их использования. Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух) и способы их использования. Специальные греющие и охлаждающие теплоносители.</p>	<p><b>2</b></p> <p>2</p>	<p>–</p> <p>–</p>	<p>–</p> <p>–</p>	<b>4</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация
<b>2.3</b>	<p><b>Теплообменные аппараты</b></p> <p>2.3.1. Классификация теплообменных аппаратов. Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые и др.). Смесительные теплообменники. Современные теплообменные аппараты. Интенсификация теплообмена в аппаратах. Выбор теплообменников. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников.</p>	<p><b>2</b></p> <p>2</p>	<p><b>6</b></p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p>	<p><b>2</b></p> <p>2</p>	<b>4</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
<b>2.4</b>	<p><b>Выпаривание</b></p> <p>2.4.1. Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения раствора, депрессии. Тепловой баланс выпарного аппарата. Удельный расход греющего пара на выпаривание. Полезная разность температур при выпаривании. Порядок расчета выпарного аппарата.</p> <p>2.4.2. Одно- и многокорпусные выпарные установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки. Классификация выпарных аппаратов, их типовые и современные конструкции.</p>	6 4  2	6 –  2 2 2	2  –	12  –	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
<b>3</b>	<b>МАССОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>58</b>	
<b>3.1</b>	<p><b>Основы массопередачи</b></p> <p>3.1.1. Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности.</p> <p>Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (аппарата).</p> <p>Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Законы Фика. Конвективный перенос вещества. Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.</p> <p>3.1.2. Уравнение массоотдачи. Основные критерии диффузионного подобия. Применение теории диффузионного подобия для описания и расчетов массообменных процессов.</p> <p>Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Взаимосвязь коэффициентов массопередачи с коэффициентами массоотдачи. Движущая сила массопередачи, расчет ее средней величины.</p> <p>3.1.3. Основы расчета массообменных аппаратов. Общие положения и порядок расчетов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием основного уравнения массопередачи. Определение высоты аппарата через число и высоту единиц переноса. Степень изменения концентрации, теоретическая степень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.</p>	6 2  2	– –  –	2  –	12  –	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ

1	2	3	4	5	6	7
<b>3.2</b>	<p><b>Абсорбция</b></p> <p>3.2.1. Общие сведения об абсорбции, ее роль и место в химической технологии. Равновесие при абсорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления. Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера. Скорость абсорбции и пути ее интенсификации. Принципиальные схемы абсорбционно-десорбционных установок.</p> <p>3.2.2. Классификация абсорберов. Типовые и современные конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.). Виды насадок, их характеристики и выбор. Конструкции массообменных тарелок для абсорбционных аппаратов. Порядок расчета абсорбера.</p>	5 3	6 –	2 –	10	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
<b>3.3</b>	<p><b>Перегонка и ректификация</b></p> <p>3.3.1. Общая характеристика процессов, их место и роль в химической технологии. Равновесие в системе пар – жидкость. Простая перегонка. Ее материальный баланс. Перегонка с дефлегмацией. Молекулярная дистилляция. Перегонка с водяным паром.</p> <p>3.3.2. Ректификация. Установки для непрерывной и периодической ректификации бинарной смеси. Материальный баланс непрерывной бинарной ректификации. Уравнения рабочих линий бинарной ректификации. Основные уравнения теплового баланса ректификационной установки. Расчет минимального и обоснование рабочего флегмовых чисел. Конструкции ректификационных колонн. Специальные виды ректификации и установки для их проведения. Порядок расчета ректификационной колонны и установки.</p>	6 2	6 –	2 –	12	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
<b>3.4</b>	<p><b>Термическая сушка</b></p> <p>3.4.1. Общая характеристика процесса, его роль и место в химических производствах. Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и обоснование способов удаления влаги из материалов. Конвективная сушка. Сушильные агенты и их выбор. Параметры состояния сушильного агента, <math>I</math>-<math>x</math>-диаграмма влажного воздуха.</p> <p>3.4.2. Механизмы переноса влаги при сушке, кинетика процесса. Движущая сила сушки. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Теоретическая и действительная сушилки. Отображение изменения параметров сушильного агента на <math>I</math>-<math>x</math>-диаграмме. Последовательность расчета конвективной сушилки.</p>	4 1	10 –	2 2	10	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
	3.4.3. Классификация сушилок и сушильных установок. Типовые и современные конструкции конвективных сушилок (барабанная, камерная, кипящего слоя и др.). Специальные сушилки (радиационные, контактные, сублимационные). Пути совершенствования сушилок.	1	2 2 1	–		
<b>3.5</b>	<b>Адсорбция</b> 3.5.1. Общие сведения о процессе и областях его применения. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Материальный баланс адсорбции. Динамика и кинетика адсорбции. Десорбция и способы ее проведения. Конструкции адсорберов (с неподвижным, псевдоожиженным и плотным движущимся слоем).	<b>2</b> 2	<b>4</b> 2 2	– –	<b>4</b>	Зачет, экзамен, межсессионная аттестация, ОЛРУЗ
<b>3.6</b>	<b>Ионный обмен</b> 3.6.1. Характеристика процесса и ионитов. Равновесие при ионном обмене. Динамика ионного обмена. Ионообменные установки.	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<b>3.7</b>	<b>Жидкостная экстракция</b> 3.7.1. Общие сведения о процессе и его практическом применении. Методы жидкостной экстракции. Равновесие в системе жидкость-жидкость. Материальный баланс процесса. Основные схемы проведения экстракции. Массопередача при экстракции. Классификация экстракторов, их конструкции (колонные гравитационные распылительные и насадочные, ступенчатые и др.).	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<b>3.8</b>	<b>Растворение и экстрагирование в системе твердое тело – жидкость</b> 3.8.1. Общие сведения о процессах и областях их применения. Равновесие при растворении и кинетика процесса. Экстрагирование жидкого вещества из твердого тела. Экстрагирование твердого вещества. Кинетика экстрагирования. Способы экстрагирования и растворения. Конструкции экстракторов и растворителей.	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<b>3.9</b>	<b>Кристаллизация из растворов и расплавов</b> 3.9.1. Общие сведения о процессах и их применении. Кристаллизация из растворов. Равновесие при кристаллизации. Материальный и тепловой баланс кристаллизации. Кинетика кристаллизации. Классификация кристаллизаторов и их конструкции.	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен

1	2	3	4	5	6	7
<b>3.10</b>	<b>Мембранные процессы</b> 3.10.1. Общие сведения о процессах и областях их применения. Классификация и характеристика мембранных процессов (баромембранных, диффузионно-мембранных, электромембранных, ультра- и микрофльтрации) и мембран. Конструкции мембранных аппаратов.	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<b>4</b>	<b>МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b>	<b>2</b>	–	–	<b>4</b>	
<b>4.1</b>	<b>Измельчение твердых материалов</b> 4.1.1. Теории измельчения. Методы измельчения. Степень измельчения. Методы помола. Классификация машин для измельчения. Основные конструкции дробилок (щековые, конусные, валковые, молотковые) и мельниц (барабанные шаровые, стержневые и трубчатые, вибрационные, струйные и коллоидные).	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<b>4.2</b>	<b>Классификации и сортировка твердых материалов</b> 4.2.1. Грохочение. Конструкции грохотов. Пневматические и гидравлические классификаторы.	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>102</b>	<b>56</b>	<b>34</b>	<b>168</b>	

*Примечание* Сокращения в графе «Форма контроля знаний» расшифровываются: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

### 3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

для специальности 1–48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий»

(заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Форма контроля знаний
		ЛК	ЛЗ	ПЗ	
1	2	3	4	5	7
<b>4 СЕМЕСТР</b>		<b>4</b>	–	–	
1	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>				
1.1	<b>Основы технической гидравлики</b>	<b>2</b>	–	–	Экзамен, зачет
1.2	<b>Перемещение жидкостей и газов</b>	<b>1</b>			
1.3	<b>Гидродинамика гетерогенных систем</b>	<b>1</b>			
<b>5 СЕМЕСТР</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	Экзамен, зачет
1.4	<b>Гидромеханическое разделение гетерогенных систем</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	Экзамен, зачет, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
2	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>4</b>			
2.1	<b>Основы теории теплообмена</b>	<b>2</b>			
2.2	<b>Выпаривание</b>	<b>2</b>			
<b>6 СЕМЕСТР</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	Экзамен, зачет
3	<b>МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	Экзамен, зачет, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3.1	<b>Основы массопередачи</b>	<b>2</b>			
3.2	<b>Абсорбция</b>	<b>1</b>			
3.3	<b>Перегонка и ректификация</b>	<b>1</b>			
3.4	<b>Термическая сушка</b>	<b>2</b>			
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>16</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	

**Примечания.** Сокращения в графе «Форма контроля знаний» расшифровываются: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

В 5-ом семестре проводятся лабораторные и практические занятия по темам 1.1–1.4. Экзамен и зачет в указанном семестре включает материал по разделу 1 «ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ».

В 6-ом семестре проводятся лабораторные и практические занятия по темам 2.1–2.2 и 3.1–3.4. Экзамен и зачет в указанном семестре включает материал по разделу 2 «ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ» и 3 «МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ».

## 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Перечень литературы

#### Основная

1. Саевич, Н. П. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии»: Регистрационное свидетельство № 1141816392 от 03.08.2018 г. Владелец: УО «Белорусский государственный технологический университет» / Н. П. Саевич, Д. Г. Калишук, А. Э. Левданский. [Электронный ресурс] – Минск, 2018. – Режим доступа: <https://www.belstu.by/faculties/htit/piahp/umk.html>.

2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 751 с.

3. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. В 2-х кн. / Ю. И. Дытнерский. – М.: Химия, 1995. – 399 с. + 368 с.

4. Маркаў, У. А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі У 2 ч. Ч. 1. Гідрамеханічныя і механічныя працэсы / У. А. Маркаў, П. Я. Вайцяховіч. – Мн.: БДТУ, 2002. – 302 с.

5. Маркаў, У. А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі У 2 ч. Ч. 2. Цеплавныя і масаабменныя працэсы / У. А. Маркаў. – Мн.: БДТУ, 2006. – 442 с.

6. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков – М.: Альянс, 2007. – 576 с.

7. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. – СПб.: Химиздат, 2009. – 542 с.

8. Боровик, А. А. Процессы и аппараты химической технологии. Сборник примеров и задач. В 2 ч. Ч. 1. Техническая гидравлика Гидромеханические процессы / А. А. Боровик, С. К. Протасов, В. А. Марков. – Мн.: БГТУ, 2006. – 332 с

9. Боровик, А.А. Процессы и аппараты химической технологии. Сборник примеров и задач. В 2 ч. Ч. 2. Тепловые процессы/ А. А. Боровик, С. К. Протасов, В. А. Марков. – Мн.: БГТУ, 2013. – 418 с.

10. Процессы и аппараты химической технологии. Массообменные процессы. Сборник примеров и задач/И. В. Войтов [и др.]. – Минск, БГТУ, 2017. – 509 с.

11. Калишук, Д.Г. Процессы и аппараты химической технологии: учеб.-метод. пособие для студентов спец. 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств», 1-48 02 01 «Биотехнология»/ Д. Г. Калишук, Н. П. Саевич, А. И. Вилькоцкий. – Минск: БГТУ, 2011. – 426 с

12. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

13. Марков, В. А. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум/ В. А. Марков, С. К. Протасов, А. А. Боровик. – Минск: БГТУ, 2011. – 206 с.

14. Маркаў, У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі. Практыкум / У. А. Маркаў, С. К. Пратасаў, А. А. Баравік. – Мн.: БГТУ, 2008. – 208 с.

15. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

16. Процессы и аппараты химической технологии. Расчет и проектирование массообменных аппаратов/ Д. Г. Калишук [и др.] – Минск: БГТУ, 2014. – 498 с.

17. Процессы и аппараты химической технологии: методические указания к курсовому проектированию по одноименной дисциплине/ Сост. Д. Г. Калишук. С. К. Протасов, В. А. Марков. – Минск: БТИ им. С.М. Кирова. 1992. – 42с.

18. СТП 001-2019. Проекты (работы) дипломные. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защиты.- Минск: БГТУ, 2019. – 67 с.

19. СТП 002-2007. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защиты. – Минск: БГТУ, 2007. – 40 с.

#### Дополнительная

20. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. В 3-х ч. Ч. 1 и 2. – С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004, 2006. – 848+948 с.

21. Справочник химика. Т. 5. Под ред. Никольского. – М.–Л.: Химия, 1966. – 976 с.

22. Перри, Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ. В 2-х кн./ Дж. Перри. – Л.: Химия, 1969. – 640 + 504 с.

23. Гельперин, Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н. И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с

24. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. – М: Химия, 1968 -847 с.

25. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев.– М.: Химия, 1987. – 496 с.

26. Айнштейн, В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2-х кн. / В. Г. Айнштейн [и др.]; Под ред. В. Г. Айнштейна. – М.: Логос; Высшая школа, 2002. – 912+872 с.

27. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А. И. Скобло, И. А. Трегубов, Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1982. – 584 с.

28. Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки / Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1987. – 368 с

29. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»/В. Ф. Фролов – 2-е изд, испр. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 608 с.

30. Романков, П. Г. Процессы и аппараты химической промышленности / П. Г. Романков [и др.] – Л.: Химия, 1989. – 560 с
31. Игнатович, Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Пер. с нем. / Э. Игнатович. – М.: Техносфера, 2007. – 656 с
32. Процессы и аппараты химической технологии. Явление переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т. 1. Основы теории процессов химической технологии / Д. А. Баранов [и др.]: под ред. А. М. Кутепова. – М.: Логос, 2000. – 480 с.
33. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т. 2. Механические и гидромеханические процессы / Д. А. Баранов [и др.]: под ред. А. М. Кутепова. – М.: Логос, 2002. – 600 с.
34. Горбатюк, В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. / В. И. Горбатюк – М.: Колос, 1999. – 333 с.
35. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. / Г. Д. Кавецкий, Б. В. Васильев. – М.: Колос, 1999. – 551 с.
36. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А. В. Клименко и проф. В. М. Зорина. – М.: Издательство МЭИ, 2007. – 632 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 4).
37. Таубман, Е. И. Выпаривание / Е. И. Таубман. – М.: Химия, 1982. – 362 с.
38. Кафаров, В. В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979.
39. Шервуд, Т. Массопередача / Т. Шервуд, Р.Л. Пигфорд, У. Уилки. – М.: Химия, 1982. – 696 с.
40. Александров, И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования / И. А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 280 с.
41. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с
42. Сажин, Б. С. Основы техники сушки / Б. С. Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
43. Ягодин, Г. А. Основы жидкостной экстракции/ Г. А. Ягодин, С. З. Каган – М.: Химия, 1981.
44. Гельперин, Н. И. Основы техники кристаллизации расплавов/ Н. И. Гельперин, Г. А. Носов – М.: Химия, 1975.
45. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники/Н. В. Кельцев. – М.: Химия, 1984.
46. Иоффе, И. И. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И. И. Иоффе. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
47. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. В 3-х т. / А. С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2006. – 852+1028+968 с
48. Лащинский, А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник / А. А. Лащинский. – М.: Машиностроение, 1981. – 382 с.

## 4.2. Перечень и тематика практических занятий

Тематика практических занятий для студентов дневной формы получения образования формируется в соответствии с последовательностью изложения лекционного материала и охватывает при этом основные разделы и темы дисциплины. На практических занятиях проводятся расчеты статики и кинетики процессов, а также конструктивных параметров аппаратов, приобретает опыт работы с нормативной документацией по подбору стандартного оборудования. На всех практических занятиях каждому студенту выдается индивидуальное задание с целью его самостоятельной работы и закрепления навыков самостоятельно принимать решения. Перечень тем практических занятий для студентов дневной формы получения образования приведен ниже.

1. Свойства газов и жидкостей и параметры их состояния.
2. Основы прикладной гидростатики.
3. Практическое приложение основных уравнений гидродинамики.
4. Гидравлическое сопротивление трубопроводов.
5. Насосы и компрессорные машины.
6. Гравитационное осаждение. Отстойники.
7. Гидродинамика зернистого слоя.
8. Фильтрование и фильтры.
9. Перемешивание жидких сред.
10. Тепловые балансы. Перенос тепла теплопроводностью.
11. Конвективный теплообмен. Расчет коэффициентов теплоотдачи.
12. Основы расчета теплообменников.
13. Выпаривание.
14. Абсорбция и основы расчетов абсорберов.
15. Перегонка. Основы расчетов ректификационных аппаратов.
16. Сушка. Основы расчетов конвективных сушилок.
17. Основы расчетов адсорберов.

Со студентами специальности 1–48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» (заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) следует провести практические занятия по ниже-перечисленным темам.

1. Основы технической гидравлики.
2. Гидромеханическое разделение гетерогенных систем.
3. Основы теории теплообмена.
4. Абсорбция.

## 4.3. Перечень тем лабораторных занятий, их название

1. Безопасность при проведении лабораторных работ в лабораториях гидравлики и гидромеханических процессов. Общие указания по выполнению работ по гидравлике и гидромеханических процессам.
2. Режимы течения жидкостей (лабораторная работа № 1).
3. Определение расхода газа в трубопроводе с получением профиля распределения локальных скоростей (лабораторная работа № 2).

4. Определение гидравлического сопротивления элементов трубопровода (лабораторная работа № 3).

5. Получение характеристик центробежных нагнетательных машин (насоса и вентилятора) и трубопроводной сети (лабораторная работа № 4).

6. Исследования гравитационного осаждения твердых частиц (лабораторная работа № 5).

7. Исследования эффективности и гидравлического сопротивления циклона (лабораторная работа № 6).

8. Исследование гидродинамики псевдоожиженного зернистого слоя и зернистого слоя в состоянии пневмотранспорта (лабораторная работа № 7).

9. Исследование работы емкостного фильтра с получением констант фильтрования (лабораторная работа № 8).

10. Исследование работы мешалки с определением потребляемой мощности (лабораторная работа № 9).

11. Безопасность при проведении лабораторных работ в лабораториях тепловых и массообменных процессов. Общие указания по выполнению работ по тепловым и массообменным процессам.

12. Исследование процесса теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе» с определением экспериментального и расчетного теоретического коэффициентов теплопередачи (лабораторная работа № 11).

13. Исследование процесса нестационарного теплообмена (лабораторная работа № 12).

14. Исследование процесса выпаривания под вакуумом (лабораторная работа № 13).

15. Исследование процесса периодической ректификации бинарной смеси (лабораторная работа № 14).

16. Исследование гидродинамических режимов работы тарельчатых и насадочных массообменных аппаратов и их гидравлического сопротивления (лабораторная работа № 15).

17. Исследование процесса абсорбции в насадочной и тарельчатой колоннах (лабораторная работа № 16).

18. Исследование процесса периодической адсорбции (лабораторная работа № 17).

19. Исследование процесса десорбции - регенерации адсорбента (лабораторная работа № 18).

20. Исследование процесса конвективной сушки в барабанной сушилке (лабораторная работа № 19).

21. Исследование кинетики сушки (лабораторная работа № 20)

**Примечание:** Нумерация работ в сносках соответствует их нумерации в практикуме [13] из списка основной литературы.

Со студентами специальности 1–48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» (заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) предпочтительно следует провести лабораторные занятия по темам №№ 1, 4,

7, 11, 12 и 15 из выше приведенного списка. Конкретный перечень тем лабораторных занятий студентам определяет преподаватель, ведущий эти занятия.

#### 4.4. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

Для диагностики результатов учебной деятельности используются:

- отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой;
- отчеты по лабораторным работам с их устной защитой;
- межсессионные аттестации;
- зачет;
- экзамены;
- курсовой проект с его устной защитой.

Текущий контроль уровня знаний и компетенций и их приращения может также осуществляется при допуске к выполнению лабораторных работ, мониторинге хода выполнения курсового проекта, опросах на практических занятиях. В необходимых случаях на лабораторных занятиях могут проводиться коллоквиумы, а на практических – контрольные работы и тестирование. Допускается экспресс-опрос студентов во время лекций.

В ходе 4-го и 5-го семестров проводится межсессионная аттестация студентов специальности 1–48 01 02 дневной формы получения образования (по две аттестации в каждом из семестров). Результаты межсессионных аттестаций учитываются при выставлении студентам итоговой оценки по дисциплине на экзамене. Об этом студентов информируют преподаватели кафедры в начале каждого из семестров.

Расчет итоговой отметки по учебной дисциплине ( $O_{\text{экз}}$ ), которая вносится в зачетно-экзаменационную ведомость, производится по формуле (с последующим округлением полученного числа до ближайшего целого):

$$O_{\text{экз}} = O_{\text{межс1}} \times K_{\text{межс}} + O_{\text{межс2}} \times K_{\text{межс}} + O_{\text{тек}} \times K_{\text{тек}},$$

где  $O_{\text{межс}}$  – отметка по межсессионной аттестации (первой и второй);  $O_{\text{тек}}$  – отметка, полученная на экзамене, дифференцированном зачете;  $K_{\text{межс}}$  и  $K_{\text{тек}}$  – весовые коэффициенты соответствующих видов аттестации.

Кафедрой установлены следующие значения весовых коэффициентов:  $K_{\text{межс}} = 0,2$ ;  $K_{\text{тек}} = 0,6$ .

#### 4.5. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающимися по учебной дисциплине

При изучении дисциплины используется учебно-методический комплекс с материалами, помогающими студенту в организации самостоятельной работы. Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» размещен на сайте Белорусского государственного технологического университета на странице кафедры процессов и аппаратов химических производств.

Самостоятельная работа студентов предусматривает ознакомление с научной, учебной, патентной и справочной литературой, ее изучение, выполнение учебно-исследовательских работ, подготовку к практическим и лабора-

торным занятиям, зачетам, экзаменам и защите курсового проекта, самостоятельное выполнение расчетных и описательных разделов пояснительной записки и графической части курсового проекта, анализ конкретных ситуаций. Целям улучшения организации самостоятельной работы студентов служат регулярные консультации, которые лекторы проводят в течение 4-го и 5-го семестров, а также руководители в ходе курсового проектирования.

При самостоятельной работе студент-заочник должен руководствоваться ЭУМК. Он обязан изучить учебный материал дисциплины в соответствии с разделом программы «Содержание учебного материала». Ответы практически на все вопросы раздела содержатся в учебнике: *Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 751 с.* Также эти ответы можно найти в электронном конспекте лекций по дисциплине (см. ЭУМК).

При подготовке с целью приобретения навыков самостоятельных расчетов типовых процессов и аппаратов студенту следует изучить рекомендации к данным расчетам, содержащиеся в одном из пособий: *Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков – М.: Альянс, 2007. – 576 с.*; *Калишук Д. Г. Процессы и аппараты химической технологии: учеб.-метод. Пособие для студентов специальностей 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств», 1-48 02 01 «Биотехнология» / Д. Г. Калишук, Н. П. Саевич, А. И. Вилькоцкий. – Минск: БГТУ, 2011. – 426 с.*

Рекомендуется выполнить по узловым темам дисциплины контрольные задачи, содержащиеся в поименованных выше пособиях.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Оборудование и основы проектирования предприятий подотрасли для специализаций:			
1. 1–48 01 02 01 Технология основного органического и нефтехимического синтеза	Кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии		
2. 1–48 01 02 03 Технология лакокрасочных материалов	Кафедра полимерных композиционных материалов		
3. 1–48 01 02 04 Технология пластических масс	Кафедра полимерных композиционных материалов		
4. 1–48 01 02 05 Технология переработки эластомеров	Кафедра полимерных композиционных материалов		
5. 1–48 01 02 06 Технология переработки пластических масс	Кафедра полимерных композиционных материалов		
6. 1–48 01 02 08 Конструирование изделий из полимерных материалов и формующих инструментов	Кафедра полимерных композиционных материалов		

Содержание учебной программы согласовано с выпускающими кафедрами:

Заведующий кафедрой  
нефтегазопереработки  
и нефтехимии  
кандидат химических наук, доцент

А. И. Юсевич

Заведующий кафедрой  
полимерных композиционных  
материалов  
кандидат технических наук, доцент

А. В. Касперович

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО  
на 2020/2021 учебный год**

№№ п.п.	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
ПиАХП (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

Д.Т.Н., доц.  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

А.Э. Левданский  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета ТОВ

К.Т.Н., доц.  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Ю.С. Радченко  
(И.О.Фамилия)