

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор

по учебной работе БГТУ

\_\_\_\_\_ А. А. Сакович

\_\_\_\_\_

Регистрационный № УД - \_\_\_\_\_/уч

**Основные процессы химической технологии**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности**

**1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств  
и предприятий строительных материалов»  
специализации**

**1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств»**

2020 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-36 07 01 – 2019 и учебных планов: рег. № 36 – 1 – 003/пр.-уч, утвержден 29.06.2018; рег. № 36 – 1 – 009-С/пр.-уч, утвержден 28.06.2019; рег. № 2018 – 98– 01/зф, утвержден 29.06.2018.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

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

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

А.И. Вилькоцкий, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент.

### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

В. А. Бирюк, заведующий кафедрой промышленной безопасности учреждения образования «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси», кандидат технических наук, доцент;

В.С. Францкевич, заведующий кафедрой машин и аппаратов химических и силикатных производств 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 № 9 от 14 мая 2020 г.);

Методической комиссией факультета заочного образования учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 9 от 25.05. 2020 г.);

Методической комиссией факультета химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № \_\_\_\_ от \_\_.06. 2020 г.);

Учебно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № \_\_\_\_ от \_\_.\_\_. 2020 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цель преподавания дисциплины и ее задачи

Цель дисциплины – подготовка инженеров-механиков 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 «Основные процессы химической технологии» формируются следующие специальные компетенции:

**СК-17:** Знать основные процессы химической технологии, быть способным осуществлять расчет и выбор рациональных параметров технологического оборудования.

Вышеперечисленные цели и задачи дисциплины реализуются на лекциях, практических и лабораторных занятиях. Завершающей стадией изучения дисциплины является выполнение курсовой работы. 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 «Основные процессы химической технологии», изучаемая при подготовке инженеров-механиков, по своему содержанию является специальной. По сущности для студентов специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств» 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. Теоре-

тические и практические основы дисциплины связаны с анализом, математическим описанием различных явлений, решением прикладных задач, расчетом и моделированием процессов и аппаратов химической технологии.

Для овладения дисциплиной «Основные процессы химической технологии» необходимы знания таких дисциплин, как «Высшая математика», «Физика», «Информатика и компьютерная графика», «Теоретическая механика», «Общая, неорганическая и физическая химия», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Гидравлика, гидромашины и гидропривод», «Термодинамика и теплопередача».

При последующем обучении студентов материалы дисциплины «Основные процессы химической технологии» в первую очередь, будут востребованы при изучении дисциплин «Машины и аппараты химических производств» и «Моделирование и оптимизация технологических процессов». Кроме того знания процессов химической технологии необходимы при прохождении производственной и преддипломной практик, при анализе и разработке технологических вопросов в дипломных проектах.

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

В результате изучения дисциплины «Основные процессы 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 курсовую работу	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-36 07 01 (1-36 07 01 01)	Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов, специализация Машины и аппараты химических производств	3	5, 6	326	9	186	84	52	50	-	30	Зачеты, экзамены, защита курс. работа
		3	5	136	3	84	34	18	32	-	-	Экзамен
		3	6	190	5	102	50	34	18	-	-	Экзамен
		3	6	-	1	-	-	-	-	-	30	Защита курс. работы

Таблица 2 – План учебной дисциплины для заочной 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 курсовую работу	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-36 07 01 (1-36 07 01 01)	Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов, специализация Машины и аппараты химических производств	3, 4, 5	6, 7, 8, 9	326	9	44	20	12	12	-	30	Зачеты, экзамены, защита курс. работы
		3	6	-	-	8	8	-	-	-	-	-
		4	7	136	3	18	6	6	6	-	-	Экзамен
		4	8	190	5	18	6	6	6	-	-	Экзамен
		5	9	-	1	-	-	-	-	-	30	Защита курс. работы

Таблица 3 – 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 курсовую работу	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-36 07 01 (1-36 07 01 01)	Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов, специализация Машины и аппараты химических производств	3, 4	5, 6, 7	326	9	44	20	12	12	-	30	Зачеты, экзамены, защита курс. работы
		3	5	-	-	12	6	-	6	-	-	-
		3	6	162	4	20	10	8	2	-	-	Экзамен
		4	7	164	4 1	12	4	4	4	-	30	Экзамен, защита курс. работы



## 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### ВВЕДЕНИЕ

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

Общие принципы расчета процессов и аппаратов. Материальные и энергетические балансы. Движущая сила процессов переноса. Основные кинетические уравнения явлений переноса.

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

### РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

#### *Тема 1.1. 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.

Движение двухфазных потоков: пленочное движение жидкости, барботаж. Флотация, физические основы процесса. Конструкции флотаторов.

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 1.2. Гидромеханическое разделение гетерогенных систем*

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

Осаждение под действием сил тяжести. Стесненное осаждение. Определение основных размеров отстойников и пылеосадительных камер, их конструкции.

Фильтрация. Движущая сила процесса и методы ее создания. Механизмы процесса фильтрации. Классификация осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации. Модифицированное уравнение фильтрации при постоянной движущей силе, константы фильтрации. Уравнение фильтрации при постоянной скорости процесса. Классификация фильтров, их типовые и современные конструкции. Основы расчета фильтров.

Разделение под действием инерционных сил. Центробежный фактор разделения. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг. Сверхцентрифуги.

Инерционные пылеуловители. Прямоточные, противоточные циклоны, батарейные циклоны, вихревые и ротационные пылеуловители. Выбор оптимального типоразмера инерционного пылеуловителя. Расчет аппаратов для инерционного разделения.

Способы энергосбережения при центробежном разделении неоднородных систем. Повышение эффективности пылегазоочистных установок.

Мокрая очистка газов. Классификация, области применения и основные конструкции мокрых пылеуловителей (скрубберов). Методы расчёта мокрых пылеуловителей.

Электрическая очистка газов. Конструкции электрофильтров. Расчет электрофильтров.

### ***Тема 1.3. Перемешивание в жидких средах***

Назначение и роль процесса. Способы перемешивания: их классификация и области применения. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность, потребляемая при механическом перемешивании, расчет мощности привода мешалки. Пневматический и гидравлический способы перемешивания.

## **РАЗДЕЛ 2. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**

### ***Тема 2.1. Основы теории теплообмена***

Роль тепловых процессов в химической промышленности. Тепловые балансы. Механизмы переноса тепла. Перенос тепла теплопроводностью, конвекцией, излучением. Уравнения теплоотдачи и теплопередачи. Расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, движущей сила теплопередачи. Основные греющие и охлаждающие теплоносители, способы их использования.

Теплообменные аппараты, их классификация. Типовые конструкции поверхностных теплообменников. Смесительные теплообменники. Выбор теплообменников. Интенсификация теплообмена в аппаратах.

### ***Тема 2.2. Выпаривание***

Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Одно- и многокорпусные выпарные установки.

Материальный баланс процесса. Тепловой баланс выпарного аппарата. Удельный расход греющего пара на выпаривание. Определение температуры кипения раствора, температурные потери (депрессии) в выпарной установке. Полезная разность температур при выпаривании.

Схемы многокорпусных выпарных установок. Распределение полезной разности температур по корпусам выпарной установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки.

Классификация выпарных аппаратов, их конструкции. Порядок расчета выпарного аппарата. Повышение эффективности выпарных установок

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

Конвективная сушка. Сушильные 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, распылительная, кипящего слоя, пневматическая и др.). Специальные сушилки (контактные, радиационные, 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.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Целями и задачами курсовой работы по дисциплине «Основные процессы 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 химических 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 работ, выполняемых студентами, должна представлять самостоятельные проектные разработки по одной из типовых тем дисциплины. Отдельные курсовые работы могут выполняться в виде научно-исследовательской работы.

Типовая тема курсовой работы предусматривает разработку (технологическое проектирование) одной из наиболее распространенных в химических производствах технологических установок (абсорбционной, выпарной, ректификационной или сушильной). В целом работа 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 курсовой работы используются знания, полученные студентом при изучении других дисциплин, в первую очередь таких как «Высшая математика», «Физика», «Информатика и компьютерная графика», «Общая, неорганическая и физическая химия», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Гидравлика, гидромашины и гидропривод», «Термодинамика и теплопередача».

Пояснительная записка курсовой работы 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 работы.

Графическая часть курсовой работы по типовой тематике включает:

- чертеж технологической схемы установки, один лист формата А1.

Как указано ранее, отдельные курсовые работы могут иметь научно-исследовательский характер. Тематика и содержание таких работ в каждом случае имеют индивидуальный характер, который определяется руководителем. Курсовые работы научно-исследовательской направленности выполняются либо одним студентом индивидуально, либо несколькими, составляющими творческую группу. Курсовая работа 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 работ с указанием примерной трудоемкости этапов представлен в таблице 4.

**Таблица 4 – Примерный график выполнения курсовых работ**

№№ п.п.	Наименование этапа	Продолжительность этапа	Трудоемкость
1	Подробный расчет основного аппарата	6 недель	40 %
2	Расчет и подбор вспомогательного оборудования	3 недели	20 %
3	Обоснование и описание установки. Описание основного аппарата и вспомогательного оборудования	2 недели	15 %
4	Оформление пояснительной записки	2 недели	10 %
6	Выполнение графической части	2 недели	15 %
7	Подготовка к защите и защита работы	2 недели	

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

1. Выдача задания. Структура и содержание работы.

2. Методики расчета и подбора теплообменных аппаратов.
3. Методики расчета и подбора массообменного оборудования.
4. Методики расчета и подбора вспомогательного оборудования тепло- и массообменных установок.
5. Требования к оформлению пояснительной записки.
6. Содержание описательных разделов записки.
7. Правила оформления чертежей технологических схем.
8. Порядок подготовки работы к защите и порядок его защиты.

На курсовое проектирование согласно действующим учебным планам отводится:

для студентов специализации 1-36 07 01 01 (дневная форма получения высшего образования) – 30 часов;

для студентов специализации 1-36 07 01 01 (заочная форма получения высшего образования) – 30 часов;

для студентов специализации 1-36 07 01 01 (заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) – 30 часов.



### 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>5 СЕМЕСТР</b>	<b>34</b>	<b>18</b>	<b>32</b>	<b>52</b>	
	<p><b>ВВЕДЕНИЕ</b> Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке инженеров-механиков. Классификация химико-технологических процессов и аппаратов. Общие принципы расчета процессов и аппаратов. Материальные и энергетические балансы. Движущая сила процессов переноса. Основные кинетические уравнения явлений переноса. Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Математическое моделирование. Физическое моделирование.</p>	<b>4</b>	–	–	<b>1</b>	Экзамен, межсессионная аттестация
<b>1</b>	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>32</b>	<b>51</b>	
<b>1.1</b>	<p><b>Гидродинамика гетерогенных систем</b> 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. 1.3.2. 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.</p>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	Экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
		1	–	2		
		2	2	2		
		2	2	2		
			2	2		
		1	–	–		

1	2	3	4	5	6	7
	1.3.3. Методы диспергирования жидкостей и газов и устройства для осуществления процессов (форсунки, распылители, барботеры, сопла).	1	–	–		
<b>1.2</b>	<b>Гидромеханическое разделение гетерогенных систем</b> 1.4.1. Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения. Материальный баланс процесса разделения. 1.4.2. Осаждение под действием сил тяжести. Стесненное осаждение. Определение основных размеров отстойников и пылеосадительных камер, их конструкции. 1.4.3. Фильтрация. Движущая сила процесса и методы ее создания. Механизмы процесса фильтрации. Классификация осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации. Модифицированное уравнение фильтрации при постоянной движущей силе, константы фильтрации. Уравнение фильтрации при постоянной скорости процесса. Классификация фильтров, их типовые и современные конструкции. Основы расчета фильтров. 1.4.4. Разделение под действием инерционных сил. Центробежный фактор разделения. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг. Сверхцентрифуги. Инерционные пылеуловители. Прямоточные, противоточные циклоны, батарейные циклоны, вихревые и ротационные пылеуловители. Выбор оптимального типоразмера инерционного пылеуловителя. Расчет аппаратов для инерционного разделения. Способы энергосбережения при центробежном разделении неоднородных систем. Повышение эффективности пылегазоочистных установок 1.4.5. Мокрая очистка газов. Классификация, области применения и основные конструкции мокрых пылеуловителей (скрубберов). Методы расчёта скрубберов. 1.4.6. Электрическая очистка газов. Конструкции электрофильтров. Расчет электрофильтров. Флотация, физические основы процесса. Конструкции флотаторов.	<b>20</b> 1 2 1 2 2 1 1 2 2 3 2 1	<b>12</b> – 2 2 – 2 – 2 – – – – –	<b>20</b> 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 – – –	<b>34</b>	
<b>1.3</b>	<b>Перемешивание в жидких средах</b> 1.5.1. Назначение и роль процесса. Способы перемешивания: их классификация и области применения. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность, потребляемая при механическом перемешивании, расчет мощности привода мешалки. Пневматический и гидравлический способы перемешивания.	<b>3</b> 2 1	–	<b>4</b> 2 2	<b>5</b>	Экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
	<b>6 СЕМЕСТР</b>	<b>50</b>	<b>34</b>	<b>18</b>	<b>88</b>	
<b>2</b>	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>20</b>	
<b>2.1</b>	<p><b>Основы теории теплообмена</b></p> <p>2.1.1. Роль тепловых процессов в химической промышленности. Тепловые балансы. Механизмы переноса тепла. Перенос тепла теплопроводностью, конвекцией, излучением. Уравнения теплоотдачи и теплопередачи. Расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, движущей сила теплопередачи.</p> <p>Основные греющие и охлаждающие теплоносители, способы их использования.</p> <p>2.1.2. Теплообменные аппараты, их классификация.</p> <p>Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые и др.).</p> <p>Смесительные теплообменники.</p> <p>Выбор теплообменников. Расчет теплообменников. Интенсификация теплообмена в аппаратах.</p>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	Экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ
<b>2.2</b>	<p><b>Выпаривание</b></p> <p>2.2.1. Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Одно- и многокорпусные выпарные установки.</p> <p>Материальный баланс процесса. Тепловой баланс выпарного аппарата. Удельный расход греющего пара на выпаривание.</p> <p>2.2.2. Определение температуры кипения раствора, температурные потери (депрессии) в выпарной установке. Полезная разность температур при выпаривании.</p> <p>Схемы многокорпусных выпарных установок. Распределение полезной разности температур по корпусам выпарной установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки.</p> <p>2.2.3. Классификация выпарных аппаратов, их конструкции.</p> <p>Порядок расчета выпарного аппарата. Повышение эффективности выпарных аппаратов и выпарных установок.</p>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	Экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
<b>3</b>	<b>МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>40</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>68</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. 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 ступень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.</p>	8 2 2 2	– – – –	2 – –	14	Экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ
<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.</p> <p>Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера.</p> <p>Скорость абсорбции и пути ее интенсификации.</p> <p>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.</p> <p>Порядок расчета абсорберов.</p>	7 2 2 3	6 – 2 2	4 – 2 2	12	Экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
<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.</p> <p>3.3.3. 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 ректификационной установки.</p>	<b>6</b> 2  2  2	<b>6</b> –  2  2	<b>4</b> –  2  2	<b>12</b>	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. 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.</p> <p>3.4.3. Классификация сушилок и сушильных установок. Типовые и современные конструкции конвективных сушилок. Специальные сушилки (радиационные, контактные, сублимационные). Расчет сушилок. Пути совершенствования сушилок.</p>	<b>6</b> 2  2  2	<b>6</b> –  2  2	<b>2</b> –  2  –	<b>12</b>	Экзамен, межсессионная аттестация, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
<b>3.5</b>	<p><b>Адсорбция</b></p> <p>3.5.1. Общие сведения о процессе и областях его применения. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Материальный баланс адсорбции.</p> <p>3.5.2. Динамика и кинетика адсорбции. Десорбция и способы ее проведения. Конструкции адсорберов (с неподвижным, псевдооживленным и плотным движущимся слоем). Расчет адсорберов.</p>	<b>4</b> 2  2	<b>6</b> 2  2	– –  –	<b>6</b>	Экзамен, межсессионная аттестация, ОЛРУЗ
<b>3.6</b>	<p><b>Ионный обмен</b></p> <p>3.6.1. Характеристика процесса и ионитов. Равновесие при ионном обмене. Динамика ионного обмена. Ионообменные установки.</p>	<b>1</b> 1	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен

1	2	3	4	5	6	7
<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. 3.7.2. Основные схемы проведения экстракции. Массопередача при экстракции. Классификация экстракторов, их конструкции (колонные гравитационные распылительные и насадочные, ступенчатые и др.).	<b>3</b> 1  2	– – –	– – –	<b>4</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>2</b> 2	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<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>2</b> 2	– –	– –	<b>2</b>	Экзамен
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>84</b>	<b>52</b>	<b>50</b>	<b>140</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 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств»  
(заочная форма получения высшего образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Форма контроля знаний
		ЛК	ЛЗ	ПЗ	
1	2	3	4	5	7
<b>6 СЕМЕСТР</b>		<b>8</b>	–	–	
1	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>8</b>	–	–	
1.1	Гидродинамика гетерогенных систем	2			
1.2	Гидромеханическое разделение гетерогенных систем	5			
1.3	Перемешивание в жидких средах	1			
<b>7 СЕМЕСТР</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	Экзамен
2	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	Экзамен, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
2.1	Основы теории теплообмена	1			
2.2	Выпаривание	2			
3	<b>МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>				
3.1	Основы массопередачи	3			
<b>8 СЕМЕСТР</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	Экзамен
3.2	Абсорбция	2	6	6	Экзамен, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3.3	Перегонка и ректификация	2			
3.4	Термическая сушка	2			
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>20</b>	<b>12</b>	<b>12</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 7-ом семестре проводятся лабораторные и практические занятия по темам 1.1–1.3 и 2.1–2.2. Экзамен в указанном семестре включает материал по разделам 1 «ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ» и 2 «ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

В 8-ом семестре проводятся лабораторные и практические занятия по темам 3.1–3.4. Экзамен в указанном семестре включает материал по разделу 3 «МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ».

### 3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

для специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств» (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>5 СЕМЕСТР</b>		<b>6</b>	<b>–</b>	<b>6</b>	
1	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>8</b>	<b>–</b>	<b>6</b>	Экзамен
1.1	Гидродинамика гетерогенных систем	2			
1.2	Гидромеханическое разделение гетерогенных систем	4			
<b>6 СЕМЕСТР</b>		<b>10</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	Экзамен
1.2	Гидромеханическое разделение гетерогенных систем	1	8	2	Экзамен, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
1.3	Перемешивание в жидких средах	1			
2	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	3			
2.1	Основы теории теплообмена	1			
2.2	Выпаривание	2			
3	<b>МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>				
3.1	Основы массопередачи	3			
3.2	Абсорбция	2			
<b>7 СЕМЕСТР</b>		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	Экзамен
3.3	Перегонка и ректификация	2			Экзамен, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3.4	Термическая сушка	2			
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>20</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	

В 5-ом семестре проводятся практические занятия по темам 1.1–1.3.

В 6-ом семестре проводятся лабораторные и практические занятия по темам 1.1–1.3, 2.1–2.2 и 3.1–3.4. Экзамен в указанном семестре включает материал по разделам 1 «ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ» и 2 «ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

В 7-ом семестре проводятся лабораторные и практические занятия по темам 3.1–3.4. Экзамен в указанном семестре включает материал по разделу 3 «МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ».



## 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Перечень литературы

#### Основная

1. Боровик А.А. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Процессы и аппараты химических производств»: Регистрационное свидетельство № 1141815744 от 08.06.2018 г. Владелец: УО «Белорусский государственный технологический университет» / Боровик А.А., Вилькоцкий А.И. [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. Лашинский, А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник / А. А. Лашинский. – 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. Гравитационное осаждение. Отстойники.
2. Гидродинамика зернистого слоя.
3. Фильтрация и фильтры.
4. Разделение под действием инерционных сил.
5. Мокрая очистка газов.
6. Перемешивание жидких сред.
7. Тепловые балансы. Перенос тепла теплопроводностью.
8. Конвективный теплообмен. Расчет коэффициентов теплоотдачи.
9. Основы расчета теплообменников.
10. Выпаривание.
11. Абсорбция и основы расчетов абсорберов.
12. Перегонка. Основы расчетов ректификационных аппаратов.
13. Сушка. Основы расчетов конвективных сушилок.
14. Основы расчетов адсорберов.

Со студентами специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств» (заочная форма получения высшего образования и заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) предпочтительно следует провести практические занятия по нижеперечисленным темам.

1. Гидромеханическое разделение гетерогенных систем.
2. Основы теории теплообмена.
3. 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. Исследования гравитационного осаждения твердых частиц (лабораторная работа № 5).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

17. Исследование кинетики сушки (лабораторная работа № 20)

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

Со студентами специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств» (заочная форма получения высшего образования и заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) предпочтительно следует провести лабораторные занятия по темам №№ 1, 3, 5, 8, 12 (или 13) и 16 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;
- экзамены;
- курсовая работа с ее устной защитой.

Текущий контроль уровня знаний и компетенций и их приращения может также осуществляется при допуске к выполнению лабораторных работ, мониторинге хода выполнения курсовой работы, 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 5-го и 6-го семестров проводится межсессионная аттестация студентов специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств» 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. Также можно использовать электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Процессы и аппараты химических производств», размещенный 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 лабораторным занятиям, зачетам, экзаменам и защите курсовой работы, самостоя-

тельное выполнение расчетных и описательных разделов пояснительной записки и графической части курсовой работы, анализ конкретных ситуаций. Целям улучшения организации самостоятельной работы студентов служат регулярные консультации, которые лекторы проводят в течение 5-го и 6-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)
Машины и аппараты химических производств	Кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств		
Моделирование и оптимизация технологических процессов	Кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств		

Содержание учебной программы согласовано с выпускающей кафедрой:

Заведующий кафедрой  
машин и аппаратов химических  
и силикатных производств, доцент

В. С. Францкевич



**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО  
на 2021/2022 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 ХТиТ

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

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Ю.А. Климош  
(И.О.Фамилия)