

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по учебной работе

\_\_\_\_\_ А. А. Сакович

30.12.2021 г.

Регистрационный № УД - 1978/уч

**Процессы и аппараты водоподготовки и очистки  
сточных вод**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:

1–48 01 06 Промышленная водоподготовка и водоочистка

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1–48 01 06 – 2021, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 12.05.2021 № 90 и учебного плана № 48 – 1 – 010/пр.-уч., утвержден 04.05.2020.

### **СОСТАВИТЕЛЬ:**

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

### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Ю.В. Григорьев, заведующий лабораторией химии конденсированных сред учреждения БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», кандидат химических наук, доцент;

В. И. Володин, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и тепло-техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», доктор технических наук, доцент

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 4 от 23 ноября 2021 г.);

Методической комиссией факультета химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № \_\_ от \_\_\_\_\_ 2021 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № \_\_ от \_\_\_\_\_ 2021 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цель преподавания дисциплины и ее задачи

Цель дисциплины – подготовка инженеров для последующей успешной профессиональной деятельности за счет приобретения знаний в области основных типовых процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод. Эти знания необходимы для понимания и решения вопросов технологического характера.

#### *Задачи учебной дисциплины:*

приобретение знаний в области теории типовых процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод, 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 водоподготовки и очистки сточных вод, а также формирование навыков технологического проектирования аппаратов и установок;

изучение теоретических и прикладных принципов, освещающих устройство, методы расчетов и исследований аппаратов и установок водоподготовки и очистки сточных вод;

овладение методами расчетов, проектирования, анализа, исследований и усовершенствования процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод;

приобретение первичных навыков по управлению процессами, аппаратами и установками водоподготовки и очистки сточных вод.

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты водоподготовки и очистки сточных вод» формируется следующая специальная компетенция:

**СК-5:** Знать теоретические основы, методы моделирования и расчета механических и массообменных процессов и аппаратов систем водоподготовки и очистки сточных вод.

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 водоподготовки и очистки сточных вод», изучаемая при подготовке инженеров, по своему содержанию является специальной. По существу для студентов специальности 1–48 01 06 «Промышленная водоподготовка и водоочистка» данная дисциплина является фундаментальной общеинженерной. Она дает возможность приобрести знания о теоретических основах технологии и типовых процессах и аппаратах водоподготовки и очистки сточных вод, основах методов их расчета и моделирования. Теоретические и практические основы дисциплины связаны с анализом, мате-

матическим описанием различных явлений, решением прикладных задач, расчетом и моделированием процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод.

Для овладения дисциплиной «Процессы и аппараты водоподготовки и очистки сточных вод» необходимы знания таких дисциплин, как «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы химии», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Поверхностные явления и дисперсные системы», «Прикладная механика», «Информатика и компьютерная графика», «Инженерная и машинная графика».

При последующем обучении студентов материалы дисциплины «Процессы и аппараты водоподготовки и очистки сточных вод» будут востребованы при изучении дисциплин «Общая химическая технология», «Моделирование и оптимизация процессов водоподготовки и водоочистки», «Автоматика, автоматизация технологических процессов водоподготовки», «Оборудование систем и сооружений водоснабжения и водоотведения», «Основы проектирования систем водоподготовки и очистки сточных вод», «Водозаборные сооружения», «Водоснабжение промышленных предприятий и объектов энергетики», «Сооружения и устройства централизованных систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов», «Физико-химические методы водоподготовки и очистки сточных вод», «Биологические системы и методы в водоподготовке и очистке сточных вод» и «Мембранные и электрохимические методы и технологии в водоподготовке и очистке сточных вод». Кроме того знания процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод необходимы при прохождении общеинженерной, технологической и преддипломной практик, при сдаче государственного экзамена по специальности, при анализе и разработке технологических вопросов в дипломных проектах (работах) и их защите.

### **Требования к освоению учебной дисциплины**

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты водоподготовки и очистки сточных вод» студент должен:

***знать:***

- теоретические основы и назначение важнейших технологических процессов, используемых при водоподготовке и очистке сточных вод;
- устройство и принципы работы основных аппаратов и установок для проведения процессов водоподготовки и очистки сточных вод;
- современные технологии и аппараты для осуществления процессов водоподготовки и очистки сточных вод;
- основные методы моделирования, расчета и оптимизации процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод;
- пути и способы технического усовершенствования действующих установок и аппаратов с целью повышения их производительности и технико-экономических показателей;
- пути совершенствования вновь разрабатываемых технологий и техники водоподготовки и очистки сточных вод;

**уметь:**

- 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 совершенствования технологических линий;

- рационально организовывать технологическую последовательность водоподготовки и очистки сточных вод;

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

- анализировать закономерности протекания основных процессов;

- оценивать соответствие проектных решений поставленным технологическим целям;

- уметь осуществлять комплексный подход к решению технологических проблем;

- уметь применять энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии водоподготовки и очистки сточных вод;

**владеть:**

- методами моделирования и оптимизации процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод;

- методами управления и контроля важнейших технологических параметров основных процессов и аппаратов водоподготовки и очистки сточных вод;

- 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), внедрения оптимизированных по технологическим и экономическим параметрам технологий водоподготовки и очистки сточных вод;

- 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 06	Промышленная водоподготовка и водоочистка	2, 3	4,5,	180	6	108	36	36	36	-	40	Экзамены, защита курс. проекта
		2	4	180	5	108	36	36	36	-	-	Экзамен
		3	5	-	1	-	-	-	-	-	40	Защита курс. проекта

## 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### ВВЕДЕНИЕ

Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке инженеров по промышленной водоподготовке и водоочистке.

Основные свойства природных и сточных вод.

Классификация процессов и аппаратов водоподготовки и водоочистки.

Общие принципы расчета, анализа и моделирования процессов и аппаратов. Материальные и энергетические балансы.

### РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

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

Практическое применение уравнений Бернулли (устройства для измерения расхода жидкости, давлений и скоростей: измерительная диафрагма, трубка Пито).

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

Потери давления в трубопроводах и аппаратах. Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Расчет безнапорных трубопроводов. Особенности течения суспензий и эмульсий.

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

Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов.

Определение напора и допустимой высоты всасывания насоса.

Центробежные насосы. Их устройство и принцип действия. Взаимодействие насоса и трубопроводной сети, рабочая точка насоса.

Компрессорные машины. Их классификация и области применения.

#### *Тема 1.3. Гидромеханические процессы и аппараты для разделения гетерогенных систем со сплошной жидкой фазой*

Общая характеристика суспензий и эмульсий. Методы механического разделения суспензий и эмульсий. Материальный баланс процесса разделения.

Движение тел в жидкости. Сила сопротивления при движении тела в жидкости. Методы расчета скорости гравитационного осаждения. Основы расчета отстойников. Основные конструкции отстойников.

Фильтрация. Движущая сила и механизмы процесса. Классификация осадков при фильтрации и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации. Уравнение фильтрации при постоянном перепаде давлений. Классификация фильтров, их конструкции для систем водоочистки. Основы расчета фильтров.

Разделение под действием инерционных сил. Центробежный фактор разделения. Гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции центрифуг для систем водоснабжения и водоотведения.

Флотация. Сущность процесса и методы его осуществления. Конструкции флотаторов.

#### ***Тема 1.4. Перемешивание в жидких средах***

Назначение и роль процессов перемешивания в системах водоочистки. Способы перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и применение мешалок в системах водоотведения. Мощность привода мешалки.

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

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

Роль тепловых процессов в системах водоподготовки.

Механизмы переноса тепла. Тепловые балансы.

Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи.

#### ***Тема 2.2. Промышленные теплоносители и теплообменники***

Классификация теплоносителей. Основные греющие теплоносители (топочные газы, водяной пар). Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух).

Классификация теплообменных аппаратов.

Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые). Смесительные теплообменники.

Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников.

#### ***Тема 2.3. Выпаривание***

Сущность процесса выпаривания, его применение в системах водоподготовки и водоочистки. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения при выпаривании. Тепловой баланс выпарного аппарата.

Одно- и многокорпусные выпарные установки. Классификация выпарных аппаратов, их типовые и современные конструкции.

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

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

Характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место при водоподготовке и очистке сточных вод.

Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене. Материальный баланс массообменного процесса.

Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Конвективный массообмен. Уравнение массоотдачи.

Уравнение массопередачи. Движущая сила массопередачи.

Общие положения и порядок расчетов массообменных аппаратов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием уравнения массопередачи.

#### ***Тема 3.2. Десорбция***

Общие сведения об абсорбции и десорбции. Роль десорбции в системах водоподготовки. Равновесие при абсорбции и десорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления. Материальный баланс десорбера.

Классификация десорберов. Конструкции десорберов и их контактных устройств (насадок и массообменных тарелок). Порядок расчета десорбера.

### ***Тема 3.3. Адсорбция и ионный обмен***

Общие сведения о процессе и его применение при водоочистке. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Десорбция и способы ее проведения. Конструкции адсорберов для очистки воды.

Характеристика процесса ионного обмена и ионитов. Ионообменные установки.

### ***Тема 3.4. Жидкостная экстракция***

Общие сведения о процессе и его практическом применении. Методы жидкостной экстракции. Основные схемы проведения экстракции. Классификация экстракторов, их конструкции.

### ***Тема 3.5. 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.

### ***Тема 3.6. Термическая сушка осадков***

Общая характеристика процесса. Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и обоснование способа удаления влаги из материалов. Конвективная сушка. Сушильные агенты и их выбор. Параметры сушильного агента. I-x-диаграмма влажного воздуха. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Последовательность расчета конвективной сушилки. Сушильные аппараты для сушки осадков сточных вод.

### ***Тема 3.7. Дистилляция***

Общая характеристика процесса. Описание равновесия при дистилляции. Перегонные и ректификационные установки. Их применение при очистке сточных вод.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Целями и задачами курсового проекта по дисциплине «Процессы и аппараты водоподготовки и очистки сточных вод» 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 водоподготовки и очистки сточных вод;

- 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;

- приобретение навыков выполнения эскизов и чертежей общего вида отраслевого оборудования;

- 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 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 при водоподготовке и очистке сточных вод установок (фильтровальной, отстойной, деаэрационной, теплообменной, ионообменной, выпарной или сушильной). Как правило, проект охватывает несколько разделов дисциплины, т.к. установка, обычно включает в свой состав массообменное, теплообменное и гидромеханическое оборудование. Для основного аппарата установки выполняются подробные технологические и конструктивные расчеты. Для подбора вспомогательной аппаратуры и насосного оборудования выполняются ориентировочные технологические расчеты. Для всего комплекса аппаратуры при необходимости осуществляется его подбор 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», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Поверхностные явления и дисперсные системы», «Прикладная механика», «Информатика и компьютерная графика», «Инженерная и машинная графика».

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

- описание технологической схемы установки;
- описание конструкции и принципа действия основного аппарата 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 общего вида или подробный эскиз основного аппарата установки (фильтра, отстойника, деаэрата, теплообменника, ионообменной колонки, выпарного аппарата 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 и эскизы 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 2.

**Таблица 2 – 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	15 %
6	Выполнение графической части	3 недели	20 %
7	Подготовка к защите и защита проекта	3 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 деаэраторов.
4. Методики расчета и подбора сушилок.
5. Методика расчета отстойников.
6. Методики расчета и подбора фильтров.
7. Методики расчета трубопроводов и подбора насосов.
8. Методики расчета и подбора ионообменных аппаратов.
9. Требования к оформлению пояснительной записки.
10. Правила оформления чертежей общего вида и эскизов аппаратов.

На курсовое проектирование согласно действующему учебному плану отводится 40 часов.

Примерный перечень типовых тем курсовых проектов.

1. Рассчитать и спроектировать установку для фильтрования природных вод.
2. Рассчитать и спроектировать установку для фильтрования сточных вод.
3. Рассчитать и спроектировать установку для очистки сточных вод отстаиванием от твердых механических включений.
4. Рассчитать и спроектировать установку для очистки сточных вод отстаиванием от дисперсной жидкой фазы.
5. Рассчитать и спроектировать установку для деаэрации воды.
6. Рассчитать и спроектировать установку для нагрева воды.
7. Рассчитать и спроектировать установку для охлаждения воды.
8. Рассчитать и спроектировать установку для ионообменного обессоливания воды.
9. Рассчитать и спроектировать установку для опреснения воды выпариванием.
10. Рассчитать и спроектировать установку для сушки осадка сточных вод.

Несмотря на то, что в перечень входит только 10 тем, реальная тематика заданий по курсовому проекту является очень широкой. Например, выпарные установки для опреснения воды 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 раз-дела, 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>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>		<b>Экзамен</b>
	<b>ВВЕДЕНИЕ</b> Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке инженеров по промышленной водоподготовке и водоочистке. Основные свойства природных и сточных вод. Классификация процессов и аппаратов водоподготовки и водоочистки. Общие принципы расчета, анализа и моделирования процессов и аппаратов. Материальные и энергетические балансы.	1	-	-	2	Экзамен,
1	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	13	16	16	26	
1.1	<i>Тема 1.1. Основы технической гидравлики</i> Практическое применение уравнений Бернулли (устройства для измерения расхода жидкости, давлений и скоростей: измерительная диафрагма, трубка Пито). Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия и ее значение в научной и инженерной практике. Критерии гидродинамического подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания движения потоков и гидромеханических процессов. Потери давления в трубопроводах и аппаратах. Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Расчет безнапорных трубопроводов. Особенности течения суспензий и эмульсий.	4 2  2	4	6 2  2 2	8	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
1.2	<p><b>Тема 1.2. Перемещение жидкостей и газов</b>  Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов.  Определение напора и допустимой высоты всасывания насоса.  Центробежные насосы. Их устройство и принцип действия. Взаимодействие насоса и трубопроводной сети, рабочая точка насоса.  Компрессорные машины. Их классификация и области применения.</p>	2	4	2	4	Экзамен, межсессионная аттестация, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
1.3	<p><b>Тема 1.3. Гидромеханические процессы и аппараты для разделения гетерогенных систем со сплошной жидкой фазой</b>  Общая характеристика суспензий и эмульсий. Методы механического разделения суспензий и эмульсий. Материальный баланс процесса разделения.  Движение тел в жидкости. Сила сопротивления при движении тела в жидкости. Методы расчета скорости гравитационного осаждения. Основы расчета отстойников. Основные конструкции отстойников.  Фильтрование. Движущая сила и механизмы процесса. Классификация осадков при фильтровании и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрования. Уравнение фильтрования при постоянном перепаде давлений. Классификация фильтров, их конструкции для систем водоочистки. Основы расчета фильтров.  Разделение под действием инерционных сил. Центробежный фактор разделения. Гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции центрифуг для систем водоснабжения и водоотведения.  Флотация. Сущность процесса и методы его осуществления. Конструкции флотаторов.</p>	6	8	6	12	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
		2	4	2		
		2	4	2		
		2		2		

1	2	3	4	5	6	7
1.4	<p><b>Тема 1.4. Перемешивание в жидких средах</b>            Назначение и роль процессов перемешивания в системах водочистки. Способы перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и применение мешалок в системах водоотведения. Мощность привода мешалки.</p>	1	-	2	2	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ
2	<p><b>РАЗДЕЛ 2. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b></p>	8	8	8	14	
2.1	<p><b>Тема 2.1. Основы теории теплообмена</b>            Роль тепловых процессов в системах водоподготовки. Механизмы переноса тепла. Тепловые балансы. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи.</p>	2	-	4	6	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ
2.2	<p><b>Тема 2.2. Промышленные теплоносители и теплообменники</b>            Классификация теплоносителей. Основные греющие теплоносители (топочные газы, водяной пар). Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух). Классификация теплообменных аппаратов. Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые). Смесительные теплообменники. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников.</p>	4 2 2	4	2	6	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
2.3	<p><b>Тема 2.3. Выпаривание</b>            Сущность процесса выпаривания, его применение в системах водоподготовки и водочистки. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения при выпаривании. Тепловой баланс выпарного аппарата. Одно- и многокорпусные выпарные установки. Классификация выпарных аппаратов, их типовые и современные конструкции.</p>	2	4	2	2	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
3	<b>РАЗДЕЛ 3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	14	12	12	30	
3.1	<b>Тема 3.1. Основы массопередачи</b> Характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место при водоподготовке и очистке сточных вод. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене. Материальный баланс массообменного процесса. Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Конвективный массообмен. Уравнение массоотдачи. Уравнение массопередачи. Движущая сила массопередачи. Общие положения и порядок расчетов массообменных аппаратов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием уравнения массопередачи.	4 2    2	-	2	8	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ
3.2	<b>Тема 3.2. Десорбция</b> Общие сведения об абсорбции и десорбции. Роль десорбции в системах водоподготовки. Равновесие при абсорбции и десорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления. Материальный баланс десорбера. Классификация десорберов. Конструкции десорберов и их контактных устройств (насадок и массообменных тарелок). Порядок расчета десорбера.	3	4	4 2  2	6	Экзамен, , собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3.3	<b>Тема 3.3. Адсорбция и ионный обмен</b> Общие сведения о процессе, его применение при водоочистке. Промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Десорбция и способы ее проведения. Конструкции адсорберов для очистки воды. Характеристика процесса ионного обмена и ионитов. Ионообменные установки.	2	4	2	4	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

1	2	3	4	5	6	7
3.4	<b>Тема 3.4. Жидкостная экстракция</b> Общие сведения о процессе и его практическом применении. Методы жидкостной экстракции. Основные схемы проведения экстракции. Классификация экстракторов, их конструкции.	1	-	-	2	Экзамен,
3.5	<b>Тема 3.5. Мембранные процессы</b> 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.	1	-	-	3	Экзамен,
3.6	<b>Тема 3.6. Термическая сушка осадков</b> Общая характеристика процесса. Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и обоснование способа удаления влаги из материалов. Конвективная сушка. Сушильные агенты и их выбор. Параметры сушильного агента. I-x-диаграмма влажного воздуха. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Последовательность расчета конвективной сушилки. Аппараты для сушки осадков сточных вод.	2	4	2	4	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3.7	<b>Тема 3.7. Дистилляция</b> Общая характеристика процесса. Описание равновесия при дистилляции. Перегонные и ректификационные установки. Их применение при очистке сточных вод.	1	-	2	3	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>72</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.

## 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Перечень литературы

#### Основная

1. Громогласов, А.А. Водоподготовка: Процессы и аппараты / А.А. Громогласов и [др.]. – М.: Энергратомиздат, 1990. – 272 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 751 с.
3. Астрелин, И. Физико-химические методы очистки воды. Управление водными ресурсами / И. Астрелин и [др.]. – Проект «Water Harmony», 2015. – 637 с.
4. 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.
5. 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.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
7. Марков, В. А. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум/ В. А. Марков, С. К. Протасов, А. А. Боровик. – Минск: БГТУ, 2011. – 206 с.
8. СТП 001-2019. Проекты (работы) дипломные. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защиты.- Минск: БГТУ, 2019. – 67 с.
9. СТП 002-2007. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки,представление к защите и защиты. – Минск: БГТУ, 2007. – 40 с.

#### Дополнительная

10. Самыгин, Б.Д. Процессы и аппараты очистки сточных вод / Б.Д. Самыгин, В.А. Игнаткина. – М.: Изд. Дом МИСиС,2009. 223 с.
11. Копылов, А.С. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программированные расчеты / А.С. Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2009. – 222 с.
12. Богданович, Н.И. Процессы и аппараты очистки сточных вод / Н.И. Богданович и [др.]. – Архангельск: САФУ. 2018. – 113 с.
13. Белевцев, А.Н. Процессы и аппараты очистки сточных вод в металлургии / А.Н. Белевцев, М.А. Белевцев, Л.А. Мирошкина. – М.: МИСиС, 2007. – 137 с.
14. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы / А.Г Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 188 с.
15. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М.: Изд. Ассоциация строит. Вузов, 2006. – 704 с.
16. Яковлев, С.В. Очистка производственных сточных вод / С.В. Яковлев и [др.]. – М.: Стройиздат, 1985. – 336 с.

17. Справочник наилучших доступных технологий для очистки сточных вод на предприятиях отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства России. В 3-х книгах. Книги 1–3. – М.: ООО «Деловые медиа», 2014. – 329+367+289 с.
18. Проскураков, А.Г. Очистка сточных вод в химической промышленности / А.Г. Проскураков, Л.И. Шмидт – Л.: Химия, 1977. – 464 с.
19. Журба, М.Г. Водозаборно-очистные сооружения и устройства / М.Г. Журба и [др.]. – М.: ООО «Изд-во Астрель», 2003. – 569 с.
20. Кульский, Л.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. В 2-х частях. Части 1, 2 / Л.А. Кульский и [др.]. – Киев: Наукова думка, 1980. – 680+528 с.
21. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2006. – 309 с.
22. Рябчиков, Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б.Е. Рябчиков. – М.: Де Ли принт, 2004. – 328 с.
23. Фрог, Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.Н. Левченко. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.
24. Фрог, Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.Г. Первов. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 512 с.
25. Водоподготовка: Справочник / Под ред. С.Е. Беликова – М.: Акватерм, 2007. – 240 с.
26. Стерман, Л.С. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС / Л.С. Стерман, В.Н. Покровский. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 328 с.
27. Кожинов, В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты / В.Ф. Кожинов. – М.: ООО «Баскет», 2008. – 304 с.
28. Лапицкая, М.П. Очистка сточных вод (примеры расчетов) / М.П. Лапицкая и [др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 255 с.
29. Федоров, И.Ф. Гидравлический расчет канализационных сетей / И.Ф. Федоров, Л.Е. Волков. – М.: Стройиздат, 1968. – 252 с.
30. Веселов, Ю.С. Водоочистное оборудование: Конструирование и использование / Ю.С. Веселов, Н.С. Лавров, Н.И. Рукобратский, – Л.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
31. 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
32. Колобанов, С.К. Проектирование очистных сооружений канализации / С.К. Колобанов, А.В. Ершов, М.И. Кигель. – Киев: Будивельник, 1977. – 224 с.
33. Кульский, Л.А. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов / Кульский и [др.]. – Киев: Будивельник, 1972. – 424 с.

34. Солодянников, В.В. Расчет и математическое моделирование водоподготовки / В.В. Солодянников. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 384 с.
35. Косоверов, О. С. Расчет и конструирование инженерных сооружений водопроводно-канализационного хозяйства / О.С. Косоверов – Киев: Будивельник, 1990. – 184 с.
36. Белан, Ф.И. Водоподготовка: (расчеты, примеры, задачи). Ф.И. Белан. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
37. Гельперин, Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н. И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с
38. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. – М.: Химия, 1968 -847 с.
39. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с
40. Сажин, Б. С. Основы техники сушки / Б. С. Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
41. Ягодин, Г. А. Основы жидкостной экстракции/ Г. А. Ягодин, С. З. Каган – М.: Химия, 1981.
42. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники/Н. В. Кельцев. – М.: Химия, 1984.
43. Иоффе, И. И. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И. И. Иоффе. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
44. 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

#### **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, преобретается 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. Практическое приложение уравнения Бернулли (измерительная диафрагма, трубка Пито).
2. Гидравлическое сопротивление трубопроводов.
3. Расчет простых и сложных трубопроводов.
4. Насосы, работа насосов на сеть, подбор насосов.
5. Гравитационное осаждение.
6. Основы расчета отстойников.
7. Фильтрация. Основы расчета фильтров.

8. Перемешивание жидких сред. Основы расчета мешалок.
9. Тепловые балансы. Перенос тепла теплопроводностью.
10. Конвективный теплообмен. Расчет коэффициентов теплоотдачи.
11. Основы расчета теплообменников.
12. Выпаривание. Основы расчета выпарных аппаратов.
13. Равновесие при массопередаче. Применение уравнения массопередачи.
14. Асорбция и десорбция. Основы расчетов десорберов (деаэраторов).
15. Основы расчетов адсорберов.
16. Основы расчета сушилок.
17. Основы расчета дистилляционных установок.

#### **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. Измерение расхода с применением измерительной диафрагмы и трубки Пито..
  3. Получение характеристик центробежного насоса и трубопроводной сети.
  4. Исследования гравитационного осаждения твердых частиц и конструкций отстойников.
  5. Исследование работы емкостного фильтра с получением констант фильтрования и изучение конструкций фильтров.
  6. Безопасность при проведении лабораторных работ в лабораториях тепловых и массообменных процессов. Общие указания по выполнению работ по тепловым и массообменным процессам.
  7. Исследование процесса теплообмена в поверхностном теплообменнике.
  8. Исследование опреснения воды выпариванием.
  9. Исследование гидродинамических характеристик насадочного деаэрата (десорбера).
  10. Исследование гидродинамических характеристик тарельчатого деаэрата (десорбера).
  11. Исследование процесса очистки воды дистилляцией.
  12. Исследование кинетики конвективной сушки
- 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:
- собеседования;
  - отчеты по аудиторным практическим упражнениям (задачам) с их устной защитой (ОАПУУЗ);

отчеты по аудиторным практическим упражнениям (задачам) с их устной защитой (ОАПУУЗ);

экзамен;

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 семестра проводится две межсессионных аттестация студентов. Результаты межсессионных аттестаций учитываются при выставлении студентам итоговой оценки по дисциплине на экзамене. Об этом студентов информируют преподаватели кафедры в начале семестра.

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:  $K_{\text{межс}} = 0,2$ ;  $K_{\text{тек}} = 0,6$ .

Отметки по межсессионной аттестации выставляются студентам по итогам отчетов по аудиторным практическим упражнениям (задачам) с их устной защитой и отчетов по лабораторным работам с их устной защитой. При этом также могут учитываться результаты собеседований, коллоквиумов, контрольных работ и тестирования (при их наличии).

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

Самостоятельная работа студентов предусматривает ознакомление с научной, учебной, патентной и справочной литературой, ее изучение, выполнение учебно-исследовательских работ, подготовку к практическим и лабораторным занятиям, экзамену 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 семестра, а также консультации руководителей в ходе курсового проектирования. Все упомянутые в списках основной и дополнительной литературы учебники, учебные пособия и др. книги доступны в сети Интернет, например, на сайтах *studmed.ru*, *book.ru*, *booksee.org* и *twirpx.com*.

Все поименованные в списках основной и дополнительной литературы учебники, учебные пособия и др. книги доступны в сети Интернет, например, на сайтах *studmed.ru*, *book.ru*, *booksee.org* и *twirpx.com*.

Ответы практически на все вопросы раздела «Содержание учебного материала» можно найти в учебных пособиях:

1. *Самыгин, Б.Д. Процессы и аппараты очистки сточных вод / Б.Д. Самыгин, В.А. Игнаткина. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. 223 с.;*

2. *Копылов, А.С. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программированные расчеты / А.С. Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2009. – 222 с.;*

3. *Громогласов, А.А. Водоподготовка: Процессы и аппараты / А.А. Громогласов и [др.]. – М.: Энергратомиздат, 1990. – 272 с.*

При подготовке с целью приобретения навыков самостоятельных расчетов типовых процессов и аппаратов студенту следует изучить рекомендации к данным расчетам, содержащиеся в одном из пособий: 1. *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.;* 2. *Латицкая, М.П. Очистка сточных вод (примеры расчетов) / М.П. Латицкая и [др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 255 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 систем и сооружений водоснабжения и водоотведения	Промышленной экологии		
Основы проектирования систем водоподготовки и очистки сточных вод	Промышленной экологии		

Содержание учебной программы согласовано с выпускающей кафедрой:

Заведующая кафедрой

промышленной экологии

кандидат технических наук, доцент

А. В. Лихачева

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО  
на 2022/2023 учебный год**

№№ п.п.	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры процес-  
сов и аппаратов химических производств (протокол  
№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2023 г.  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой ПиАХП  
доктор технических наук, доцент \_\_\_\_\_ А.Э. Левданский

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета ХТТ  
кандидат технических наук, доцент \_\_\_\_\_ Ю.А.Климош