

**Министерство науки и высшего образования РФ**

**ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет**

**Химико-технологический институт**

*Кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов*

### **Рабочая программа дисциплины**

включая фонд оценочных средств и методические указания для самостоятельной работы обучающихся

---

#### **Б1.В.03 – ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Направленность (профиль) – «Инженерная защита окружающей среды»

Квалификация - бакалавр

Количество зачётных единиц (часов) – 6 (216)


г. Екатеринбург, 2021

Разработчик: канд. тех. наук  / И.К. Гиндулин /

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов (протокол № 9 от «09» марта 2021 года).

Зав. кафедрой  / Ю.Л. Юрьев /

Рабочая программа рекомендована к использованию в учебном процессе методической комиссией химико-технологического института (протокол № 5 от «12» марта 2021 года).

Председатель методической комиссии ХТИ  / И.Г. Перова /

Рабочая программа утверждена директором химико-технологического института

Директор ХТИ  / И.Г. Перова /

«12» марта 2021 года



## Оглавление

1. Общие положения .....	4
2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	6
4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся .....	6
5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов .....	7
5.1. Трудоемкость разделов дисциплины.....	7
очная форма обучения.....	7
заочная форма обучения .....	7
5.2. Содержание занятий лекционного типа .....	8
5.3. Темы и формы занятий семинарского типа .....	10
5.4. Детализация самостоятельной работы .....	11
6. Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине .....	13
7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	15
7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы .....	15
7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания .....	15
7.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы .....	17
7.4. Соответствие шкалы оценок и уровней сформированных компетенций .....	24
8. Методические указания для самостоятельной работы обучающихся .....	24
9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	26
10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	27

## 1. Общие положения

Дисциплина «**Процессы и аппараты химической технологии**» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана, входящего в состав образовательной программы высшего образования 20.03.01 - Техносферная безопасность (профиль - Инженерная защита окружающей среды).

Нормативно-методической базой для разработки рабочей программы учебной дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» являются:

- Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации», утвержденный приказом Минобрнауки РФ № 273-ФЗ от 29.12.2012;

- Приказ Минобрнауки России № 301 от 05.04.2017 г. Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры.

- Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.12.2015 г. № 1157н «Об утверждении профессионального стандарта - Специалист в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области биотехнических систем и технологий».

- Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 31.10.2016 г. № 591н «Об утверждении профессионального стандарта - Специалист по экологической безопасности (в промышленности)».

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (уровень бакалавриат), утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ № 680 от 25.05.2020;

- Учебные планы образовательной программы высшего образования направления 20.03.01 - Техносферная безопасность (профиль - Инженерная защита окружающей среды), подготовки бакалавров по очной и заочной формам обучения, одобренный Ученым советом УГЛТУ (протокол №8 от 27.08.2020) и утвержденный ректором УГЛТУ (27.08.2020).

Обучение по образовательной 20.03.01 - Техносферная безопасность (профиль - Инженерная защита окружающей среды) осуществляется на русском языке.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемыми результатами обучения по дисциплине являются знания, умения, владения и/или опыт деятельности, характеризующие этапы/уровни формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы в целом.

**Цель освоения дисциплины** – ознакомление обучающихся с основами конструкций химического оборудования, привитие навыков выполнения расчетов, использования критериальных зависимостей в процессе решения задач тепло- и массообмена при выборе тех или иных агрегатов с позиции реконструкции (совершенствования) действующих производства, а также создаваемых новых, экологически безопасных, технологий и оборудования.

### **Задачи дисциплины:**

- приобретение необходимых знаний по основным технологическим процессам и оборудованию для определения круга задач в рамках поставленной цели и выбора оптимальных способов их решения, исходя из имеющихся ресурсов и ограничений;

- овладение методами расчета материального и теплового балансов основных химико-технологических процессов;

- формирование навыков выполнения расчета основных агрегатов, проведения конструкторско-технологического анализа экобиозащитного оборудования.

**Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих универсальных и профессиональных компетенций:**

– **УК-2** способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

– **ПК-2** способность анализировать технологические процессы и режимы работы действующих производств, рассчитывать экологические риски для организаций с позиции реконструкции (совершенствования) действующих производства, а также создаваемых новых, экологически безопасных, технологий и оборудования;

– **ПК-3** способности проводить конструкторско-технологический анализ экобиозащитного оборудования производства к выпуску новой продукции с улучшенными экологическими характеристиками, с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду.

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен:**

**знать:**

– основные базовые закономерности гидромеханических, тепло- и массообменных процессов и принципы их моделирования;

– основы расчетов аппаратов для осуществления этих процессов, теорию физического моделирования процессов химической технологии;

– разделение жидких и газовых неоднородных систем, перемешивание в жидких средах;

– тепловые процессы и аппараты: основы теории передачи теплоты, промышленные способы подвода и отвода тепла химической аппаратуре;

– массообменные процессы и аппараты в системах со свободной границей раздела фаз: основы теории массопередачи и методы расчета массообменной аппаратуры (абсорбция, перегонка и ректификация, экстракция);

– массообменные процессы с неподвижной поверхностью контакта фаз: адсорбция, сушка, ионный обмен, растворение и кристаллизация; мембранные процессы химической технологии.

**уметь:**

– определять характер движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи;

– анализировать технологические процессы и режимы работы действующих производств;

– рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса, проводить конструкторско-технологический анализ экобиозащитного оборудования с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду;

**владеть:**

– навыками осуществления технологического процесса в соответствии с регламентом;

– навыками расчетов и определения основных параметров и количественных характеристик процессов;

– методами конструкторско-технологического анализа экобиозащитного оборудования производства с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду.

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная учебная дисциплина относится к дисциплинам формируемой участниками образовательных отношений, что означает формирование в процессе обучения у бакалавра основных универсальных и профессиональных знаний и компетенций в рамках выбранного профиля и профессионального стандарта.

Освоение данной дисциплины является необходимой основой для последующего изучения дисциплин ОПОП и написания выпускной квалификационной работы.

#### *Перечень обеспечивающих, сопутствующих и обеспечиваемых дисциплин*

Обеспечивающие	Сопутствующие	Обеспечиваемые
Инженерная графика. Начертательная геометрия	Методы и приборы контроля окружающей среды	Расчеты химико-технологических процессов
Прикладная механика	Теоретические основы защиты окружающей среды	Технология рекуперации газовых выбросов
Материаловедение. Технология конструкционных материалов	Технология основных производств и промышленные выбросы	Технология водоподготовки
		Технология очистки сточных вод
		Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
		Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Указанные связи дисциплины дают обучающемуся системное представление о комплексе изучаемых дисциплин в соответствии с ФГОС ВО, что обеспечивает требуемый теоретический уровень и практическую направленность в системе обучения и будущей деятельности выпускника.

### 4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

#### Общая трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего академических часов	
	очная форма	заочная форма
<b>Контактная работа с преподавателем*:</b>	<b>86,6</b>	<b>28,6</b>
лекции (Л)	32	12
практические занятия (ПЗ)	18	8
лабораторные работы (ЛР)	36	8
иные виды контактной работы	0,6	0,6
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>129,4</b>	<b>187,4</b>
изучение теоретического курса	40	110
подготовка к текущему контролю	20	35
курсовая работа (курсовой проект)	30	30
подготовка к промежуточной аттестации	39,4	12,4
<b>Вид промежуточной аттестации:</b>	<b>зачет с оценкой, экзамен</b>	<b>зачет с оценкой, экзамен</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>6/216</b>	

\*Контактная работа обучающихся с преподавателем, в том числе с применением дистанционных образовательных технологий, включает занятия лекционного типа, и (или) занятия семинарского типа, лабораторные

занятия, и (или) групповые консультации, и (или) индивидуальную работу обучающегося с преподавателем, а также аттестационные испытания промежуточной аттестации. Контактная работа может включать иные виды учебной деятельности, предусматривающие групповую и индивидуальную работу обучающихся с преподавателем. Часы контактной работы определяются Положением об организации и проведении контактной работы при реализации образовательных программ высшего образования, утвержденным Ученым советом УГЛУ от 25 февраля 2020 года.

## 5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов

### 5.1.Трудоёмкость разделов дисциплины

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	Всего контактной работы	Самостоятельная работа
1	Основные понятия и закономерности курса процессов и аппаратов химической технологии. Гидравлика и гидравлические машины.	8	9	9	26	26
2	Гидромеханические процессы и аппараты.	8	9	9	26	26
3	Тепловые процессы и аппараты	8	-	9	17	4
4	Массообменные процессы и аппараты	8	-	9	17	4
<b>Итого по разделам:</b>		<b>32</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>86</b>	<b>60</b>
Промежуточная аттестация					0,6	39,4
Курсовая работа (курсовой проект)		-	-	-	-	30
<b>Всего</b>		<b>216</b>				

#### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	Всего контактной работы	Самостоятельная работа
1	Основные понятия и закономерности курса процессов и аппаратов химической технологии. Гидравлика и гидравлические машины	3	-	4	7	45
2	Гидромеханические процессы и аппараты	3	-	4	7	45
3	Тепловые процессы и аппараты	3	4	-	7	25
4	Массообменные процессы и аппараты	3	4	-	7	30
<b>Итого по разделам:</b>		<b>12</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>145</b>
Промежуточная аттестация					0,6	12,4
Курсовая работа (курсовой проект)		-	-	-	-	30
<b>Всего</b>		<b>216</b>				

## 5.2. Содержание занятий лекционного типа

### 1. Основные понятия и закономерности курса процессов и аппаратов химической технологии. Гидравлика и гидравлические машины.

#### 1.1 Предмет и задачи курса.

Предмет и задачи курса. Классификация основных процессов. Общие принципы расчета процессов и аппаратов. Материальный и энергетический балансы. Движущая сила, скорость и интенсивность процесса. Основное уравнение процесса.

#### 1.2 Гидростатика.

Гидростатика. Гидростатическое давление и его основные свойства. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Некоторые частные приложения основного уравнения гидростатики.

#### 1.3 Гидродинамика.

Гидродинамика. Понятие вязкости жидкости, мгновенной и средней скорости, расхода жидкости. Уравнение расхода и неразрывности потока в интегральной форме. Опыт Рейнольдса. Характеристика режимов движения жидкостей. Критерий Рейнольдса и его физический смысл. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Гидравлические сопротивления в трубопроводах. Режимы трения жидкостей. Местные сопротивления.

#### 1.4 Основы теории подобия.

Основы теории подобия. Физическое и математическое моделирование. Условия и теоремы подобия. Обработка дифференциального уравнения движения Навье-Стокса методами теории подобия. Основные критерии гидродинамического подобия и их физический смысл. Гидравлические машины для перемещения жидкостей, сжатия и перемещения газов. Насосы. Основные параметры насосов. Конструкции насосов. Кавитация. Компрессорные машины. Устройство вентиляторов и компрессоров. Параллельное и последовательное соединение гидромашин. Гидравлические машины

### 2. Гидромеханические процессы и аппараты.

#### 2.1 Разделение неоднородных систем

Понятие неоднородной системы. Физические основы разделения неоднородных систем под действием силы тяжести. Скорость осаждения в установившемся режиме. Закон Стокса. Метод Лященко. Стесненное осаждение. Материальный баланс процесса разделения. Конструкции отстойников. Физические основы мокрой очистки газов. Конструкции аппаратов для мокрой очистки. Физические основы фильтрования. Движущая сила фильтрования. Дифференциальное уравнение фильтрования. Конструкции фильтров. Физические основы процесса разделения неоднородных систем под действием центробежной силы. Принцип действия отстойных и фильтрующих центрифуг, сепараторов. Фактор разделения и индекс производительности. Конструкции циклонов и центрифуг. Физические основы электроосаждения. Расчет скорости электроосаждения. Конструкции электрофильтров.

#### 2.2 Псевдоожигение и пневмотранспорт

Гидродинамика зернистых материалов. Гидродинамическая картина псевдоожигения. Основные параметры кипящего слоя. Аппараты кипящего слоя.

#### 2.3 Перемешивание в жидких средах.

Физические основы перемешивания в жидких средах. Способы перемешивания. Конструкции механических мешалок. Характеристика режимов перемешивания. Понятие рабочей и пусковой мощности.

### 3. Тепловые процессы и аппараты.

#### 3.1 Физические основы тепловых процессов.

Тепловые процессы. Понятие температурного поля и температурного градиента. Физические основы переноса теплоты простейшими способами: теплопроводностью, конвекцией, тепловым излучением. Тепловой закон Фурье. Физические основы конвективно-



го теплообмена. Теплоотдача. Движущая сила и уравнение теплоотдачи. Уравнение конвективного теплообмена в движущейся среде. Основные критерии теплового подобия. Теплоотдача при вынужденном и естественном движении теплоносителя, конденсации и кипении. Физические основы теплопередачи. Движущая сила и уравнение теплопередачи. Схемы движения теплоносителей. Тепловые балансы. Характеристика основных способов нагревания. Конструкции теплообменных аппаратов.

### *3.2 Выпаривание.*

Физические основы выпаривания. Сущность однокорпусного и многокорпусного выпаривания. Материальный и тепловой балансы однокорпусного выпаривания. Схемы многокорпусного выпаривания. Температурные потери при выпаривании. Полезная разность температур, определение оптимального числа корпусов многокорпусной установки. Конструкции аппаратов.

## **4. Массообменные процессы и аппараты.**

### *4.1 Физические основы массообменных процессов.*

Классификация основных массообменных процессов. Физические основы массопередачи: основные понятия и определения. Способы выражения концентраций фаз. Основные законы статики массопередачи. Диаграммы равновесия. Основные законы кинетики массопередачи, материальный баланс. Движущая сила массопередачи и ее расчет. Уравнение массопередачи, аддитивность фазовых сопротивлений. Диффузионное подобие. Определение основных размеров массообменных аппаратов.

### *4.2 Абсорбция*

Физические основы абсорбции. Материальный и тепловой балансы насадочного абсорбера. Влияние удельного расхода абсорбента на габаритные размеры аппарата. Конструкции ректификационных и абсорбционных колонн.

### *4.3 Перегонка.*

Физические основы перегонки. Схемы простой перегонки и перегонки с водяным паром, материальный баланс и определение расхода пара на перегонку. Непрерывная и периодическая ректификация. Механизм взаимодействия флегмы и пара на контактных устройствах колонн. Материальный баланс, построение рабочих линий, определение теоретического и действительного числа тарелок. Влияние флегмового числа на работу колонн.

### *4.4 Сушка.*

Физические основы сушки. Свойства влажного воздуха, основные параметры I-X диаграммы. Материальный и тепловой балансы конвективной сушки. Кинетика, движущая сила и механизм сушки. Изображение процессов сушки на I-x диаграмме, определение необходимого количества воздуха и теплоты.

### *4.5 Процессы массообмена с фиксированной границей раздела фаз.*

Процессы массообмена с фиксированной границей раздела фаз. Адсорбция, ионный обмен, экстрагирование и растворение, кристаллизация, мембранные процессы. Общая характеристика процессов и области применения. Физические основы адсорбции. Основные виды промышленных адсорбентов и их характеристика. Статика и динамика адсорбции. Конструкции адсорберов: с неподвижным и псевдооживленным слоем сорбента.

### 5.3. Темы и формы занятий семинарского типа

Учебный план по дисциплине предусмотрены лабораторные и практические занятия.

№	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Форма проведения занятия	Количество академических часов	
			очное	заочное
1	Раздел 1. Гидравлика и гидравлические машины (тема: 1.3 Гидродинамика) Определение гидравлических сопротивлений трубопроводов	лабораторная работа	9	4
2	Раздел 1. Гидравлика и гидравлические машины (тема: 1.3 Гидродинамика)	практическая работа	9	-
3	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты. (тема: 2.1 Разделение неоднородных систем) Исследование кинетики осаждения твердых частиц в вязкой среде.	лабораторная работа	2	2
4	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты (тема: 2.1 Разделение неоднородных систем)	практическая работа	3	-
5	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты (тема: 2.1 Разделение неоднородных систем) Исследование процесса фильтрования на элементе вакуум-фильтра.	лабораторная работа	2	2
6	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты (тема: 2.1 Разделение неоднородных систем)	практическая работа	3	-
7	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты. (тема: 2.2 Псевдооживление и пневмотранспорт) Исследование работы циклона	лабораторная работа	2	-
8	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты (тема: 2.2 Псевдооживление и пневмотранспорт) Исследование гидродинамики кипящего слоя.	лабораторная работа	3	-
9	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты (тема: 2.2 Псевдооживление и пневмотранспорт)	практическая работа	3	-
10	Раздел 3. Тепловые процессы и аппараты (тема: 3.1. Физические основы тепловых процессов.) Определение коэффициента теплопередачи в кожухотрубчатом теплообменнике	лабораторная работа	4	-
11	Раздел 3. Тепловые процессы и аппараты (тема: 3.1. Физические основы тепловых процессов.)	практическая работа	-	2
12	Раздел 3. Тепловые процессы и аппараты (тема: 3.2. Выпаривание) Определение температурных депрессий рас-	лабораторная работа	5	-

№	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Форма проведения занятия	Количество академических часов	
			очное	заочное
	творов			
13	Раздел 3. Тепловые процессы и аппараты (тема: 3.2. Выпаривание)	практическая работа	-	2
14	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.1. Физические основы массообменных процессов) Исследование влияния скорости газа в пленочном абсорбере на величину коэффициента массопередачи	лабораторная работа	3	-
15	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.2. Абсорбция) Исследование гидродинамического режима работы насадочной и тарельчатой колонны	лабораторная работа	3	-
16	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.3. Перегонка) Исследование работы ректификационной колонны.	практическая работа	-	2
17	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.4. Сушка.) Исследование кинетики сушки в конвективной сушилке	лабораторная работа	3	-
18	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.4. Сушка) Построение диаграммы Рамзина	практическая работа	-	2
<b>Итого:</b>			<b>54</b>	<b>16</b>

#### 5.4 Детализация самостоятельной работы

№	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Вид самостоятельной работы	Трудоемкость, час	
			очная	заочная
1	Раздел 1. Гидравлика и гидравлические машины. (тема 1.2 Гидростатика)	Подготовка к тестовому контролю	11	15
2	Раздел 1. Гидравлика и гидравлические машины. (тема: 1.3 Гидродинамика)	Подготовка к опросу по теме лабораторных работ, подготовка к тестовому контролю	15	30
3	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты. (тема: 2.1 Разделение неоднородных систем)	Подготовка к опросу по теме лабораторной работы	10	20
4	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты. (тема: 2.1 Разделение неоднородных систем)	Подготовка к тестовому контролю	8	5
5	Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты. (тема: 2.2 Псевдооживление и пневмотранспорт)	Подготовка к опросу по темам лабораторных работ, подготовка к тестовому контролю	8	20
6	Раздел 3. Тепловые процессы и ап	Подготовка к опросу по	1	10

№	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Вид самостоятельной работы	Трудоемкость, час	
			очная	заочная
	параты (тема: 3.1. Физические основы тепловых процессов.)	теме лабораторной работы		
7	Раздел 3. Тепловые процессы и аппараты (тема: 3.1. Физические основы тепловых процессов.)	Подготовка к тестовому контролю	1	2
8	Раздел 3. Тепловые процессы и аппараты (тема: 3.2. Выпаривание)	Подготовка к опросу по теме лабораторной работы	1	10
9	Раздел 3. Тепловые процессы и аппараты (тема: 3.2. Выпаривание)	Подготовка к тестовому контролю	1	3
10	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.1. Физические основы массообменных процессов)	Подготовка к опросу по теме лабораторной работы	1	7
11	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.1. Физические основы массообменных процессов)	Подготовка к тестовому контролю	-	2
12	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.2. Абсорбция)	Подготовка к тестовому контролю	-	2
13	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.3. Перегонка)	Подготовка к опросу по темам лабораторных работ	1	5
14	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.3. Перегонка)	Подготовка к тестовому контролю	-	2
15	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.4. Сушка.)	Подготовка к опросу по теме лабораторной работы	1	8
16	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.4. Сушка.)	Подготовка к тестовому контролю	1	2
17	Раздел 4. Массообменные процессы и аппараты (тема: 4.5 Процессы массообмена с фиксированной границей раздела фаз.)	Подготовка к тестовому контролю	-	2
18	Курсовая работа	Выполнение курсовой работы в соответствии с заданием	30	30
19	Подготовка к промежуточной аттестации	Изучение лекционного материала, литературных источников в соответствии с тематикой	39,4	12,4
<b>Итого:</b>			<b>129,4</b>	<b>187,4</b>

## 6. Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине

### Основная и дополнительная литература

№ п/п	Автор, наименование	Год издания	Примечание
<b>Основная учебная литература</b>			
1	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс : учебник : в 2 книгах / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов [и др.] ; под редакцией В. Г. Айнштейна. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Книга 1 : Книга 1 — 2019. — 916 с. — ISBN 978-5-8114-2975-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/111193">https://e.lanbook.com/book/111193</a> — Текст: электронный.	2019	Полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю*
2	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс : учебник : в 2 книгах / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов [и др.] ; под редакцией В. Г. Айнштейна. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Книга 2 : Книга 2 — 2019. — 876 с. — ISBN 978-5-8114-2975-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/111194">https://e.lanbook.com/book/111194</a> — Режим доступа: для авториз. пользователей.	2019	Полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю*
3	Ведерникова, М. И. Основные процессы и аппараты химической технологии в виде логико-структурных схем. В двух книгах. Книга 2. Массообменные процессы : учебное пособие : в 2 частях / М. И. Ведерникова, В. Б. Терентьев, Ю. Л. Юрьев. — Екатеринбург : УГЛТУ, [б. г.]. — Часть 2 — 2017. — 176 с. — ISBN 978-5-94984-628-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/142567">https://e.lanbook.com/book/142567</a> — Режим доступа: для авториз. пользователей.	2017	Полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю*
<b>Дополнительная учебная литература</b>			
4	Касаткин А.Г.и др.Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник.- М.: ООО “ ИД Альянс” ,2009.-753с.	2009	Библиотека УГЛТУ (35экз)
5	Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник.- М.: Химия, 2010.-368с.	2010	Библиотека УГЛТУ (30 экз)
6	Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.Примеры и задачи по курсу ПАХТ Учебное пособие.- М.: ООО “ ИД Альянс”, 2005.- 576 с.	2005	Библиотека УГЛТУ (90 экз)
7	Орлов В.П. Процессы и аппараты химической технологии. Справочные материалы. Учебное издание.- Екатеринбург:УГЛТУ,2002.-121с.	2002	Библиотека УГЛТУ (247 экз)
8	Ведерникова М.И., Старцева Л.Г., Юрьев Ю.Л., Орлов В.П. Примеры и задачи по массообменным процессам химической технологии. Ч.1-1У, 2009-2011г.,946с.	2011	Библиотека УГЛТУ (100 экз)
9	Ведерникова М.И., Таланкин В.С., Юрьев Ю.Л. Оборудование для переработки растительного сырья. Атлас черте-	2005	Библиотека УГЛТУ (100 экз)

	жей. Екатеринбург, 2005г.,75с.		
10	Ведерникова М.И.и др. Проектирование выпарной установки Ч.1, 11 и 111,2002г.,135с.	2002	Библиотека УГЛТУ (100 экз)
11	Ведерникова М.И.и др. Проектирование непрерывнодействующей фильтровальной установки.2005, 44с.	2005	Библиотека УГЛТУ (100 экз)

\*- прежде чем пройти по ссылке, необходимо войти в систему

Функционирование электронной информационно-образовательной среды обеспечивается соответствующими средствами информационно-коммуникационных технологий.

### Электронные библиотечные системы

Каждый обучающийся обеспечен доступом к электронной библиотечной системе УГЛТУ (<http://lib.usfeu.ru/>), ЭБС Издательства Лань <http://e.lanbook.com/>, ЭБС Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru/>, содержащих издания по основным изучаемым дисциплинам и сформированных по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

### Справочные и информационные системы

1. Справочно-правовая система «Консультант Плюс».
2. Информационно-правовой портал Гарант. Режим доступа: <http://www.garant.ru/>
3. База данных Scopus компании Elsevier B.V. <https://www.scopus.com/>

### Профессиональные базы данных

1. Информационные системы, банки данных в области охраны окружающей среды и природопользования – Режим доступа: <http://минприродыро.рф>
2. Информационная система «ТЕХНОМАТИВ». – Режим доступа: <https://www.technormativ.ru/>;
3. Научная электронная библиотека eLibrary. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/> .
4. Программы для экологов EcoReport. – Режим доступа: <http://ecoreport.ru/>;

### Нормативно-правовые акты

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 30.12.2020). С изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021. – Режим доступа: <https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=51460506304105653232087527&cacheid=618FE8A01F3CE2A2127C47EF7B50C3B2&mode=splus&base=RZR&n=357154&rnd=61BB4DBBDBB4934B5196112E78BCA831#1ylrpozekjs>
2. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 №96-ФЗ (ред. от 08.12.2020). – Режим доступа: <https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=82378222807697057290023339&cacheid=2AA1E5C242A63283400C0CB75CA1BFAA&mode=splus&base=RZR&n=370329&rnd=61B4DBBDBB4934B5196112E78BCA831#1d3yq78x4ot>
3. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ (ред. от 07.04.2020). С изм. и доп., вступ. в силу с 14.06.2020. – Режим доступа: <https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=211626294608152263367298476&cacheid=4C3CCAF5034C6A2E2E4FEA685E43BD91&mode=splus&base=RZR&n=340343&rnd=61BB4DBBDBB4934B5196112E78BCA831#77nt098coio>
4. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 № 52-ФЗ (ред. от 13.07.2020). – Режим доступа: <https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=90263871202497402182882562&cacheid>

[=66A4353B3850656CC36F31D855C08D1C&mode=splus&base=RZR&n=357147&rnd=61B4DBBDBB4934B5196112E78BCA831#2jrcjeqyte8](https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=82380137503398149091268725&cacheid=EEA2A61F32D286D8F9D031285219FAA2&mode=splus&base=RZR&n=372890&rnd=61B4DBBDBB4934B5196112E78BCA831#2jrcjeqyte8)

5. Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14 марта 1995 г. №33-ФЗ (ред. от 30.12.2020). – Режим доступа: <https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=82380137503398149091268725&cacheid=EEA2A61F32D286D8F9D031285219FAA2&mode=splus&base=RZR&n=372890&rnd=61B4DBBDBB4934B5196112E78BCA831#mc43oocqja>

6. Приказ Минприроды России «Об утверждении правил эксплуатации установок очистки газа» от 15.09.2017 №498. – Режим доступа: <https://demo.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=198145014505994973645841339&cacheid=60909D0909873F967E163B056B98FAEF&mode=splus&base=RZR&n=287384&rnd=61B4DBBDBB4934B5196112E78BCA831#1rkfks4lgx3>

## 7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Формируемые компетенции	Вид и форма контроля
<b>УК-2</b> Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	<b>Промежуточный контроль:</b> контрольные вопросы для зачета с оценкой, контрольные вопросы для экзамена, защита курсовой работы <b>Текущий контроль:</b> опрос, защита отчетных материалов по лабораторной / практической работе, тестирование.
<b>ПК-2</b> готовности обосновывать снижение экологических рисков при расширении, реконструкции и внедрении новых экологически безопасных, энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования	<b>Промежуточный контроль:</b> контрольные вопросы для зачета с оценкой, контрольные вопросы для экзамена, защита курсовой работы <b>Текущий контроль:</b> опрос, защита отчетных материалов по лабораторной / практической работе, тестирование.
<b>ПК-3</b> способности проводить конструкторско-технологический анализ экобиозащитного оборудования производства к выпуску новой продукции с улучшенными экологическими характеристиками, с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду	<b>Промежуточный контроль:</b> контрольные вопросы для зачета с оценкой, контрольные вопросы для экзамена, защита курсовой работы <b>Текущий контроль:</b> опрос, защита отчетных материалов по лабораторной / практической работе, тестирование.

### 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### Критерии оценивания устного ответа на контрольные вопросы зачета / экзамена (промежуточный контроль формирования компетенций УК-2, ПК-2, ПК-3)

*отлично* – дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний об объекте, доказательно раскрыты основные положения темы; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Знание об объекте демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Ответ

изложен литературным языком в терминах науки, показана способность быстро реагировать на уточняющие вопросы;

*хорошо* – дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен в терминах науки. Однако допущены незначительные ошибки или недочеты, исправленные бакалавром с помощью «наводящих» вопросов;

*удовлетворительно* – дан неполный ответ, логика и последовательность изложения имеют существенные нарушения. Допущены грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений, вследствие непонимания бакалавром их существенных и несущественных признаков и связей. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть конкретные проявления обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции;

*неудовлетворительно* – бакалавр демонстрирует незнание теоретических основ предмета, не умеет делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает слабое владение монологической речью, не владеет терминологией, проявляет отсутствие логичности и последовательности изложения, делает ошибки, которые не может исправить, даже при коррекции преподавателем, отказывается отвечать на занятии.

### **Критерии оценивания опроса устного ответа по теме лабораторной работы (текущий контроль формирования компетенций УК-2, ПК-2 и ПК-3):**

*86-100 баллов (отлично):* работа выполнена в срок; оформление и содержательная часть отчета образцовые; работа выполнена самостоятельно; присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы. Обучающийся правильно ответил на все вопросы при сдаче коллоквиума и защите отчета.

*71-85 баллов (хорошо):* работа выполнена в срок; в оформлении отчета и его содержательной части нет грубых ошибок; работа выполнена самостоятельно; присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы. Обучающийся при сдаче коллоквиума и защите отчета правильно ответил на все вопросы с помощью преподавателя.

*51-70 баллов (удовлетворительно):* работа выполнена с нарушением графика; в оформлении, содержательной части отчета есть недостатки; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения. Обучающийся при сдаче коллоквиума и защите отчета ответил не на все вопросы.

*Менее 51 балла (неудовлетворительно):* оформление отчета не соответствует требованиям; отсутствуют или сделаны неправильные выводы и обобщения. Обучающийся не ответил на вопросы коллоквиума и не смог защитить отчет.

### **Критерии оценки отчетных материалов по лабораторным и практическим работам (текущий контроль формирования компетенций УК-2, ПК-2, ПК-3)**

*86-100 баллов (отлично):* работа выполнена в срок; оформление, алгоритм решения задачи и правильность расчета образцовые; задание выполнено самостоятельно. Обучающийся правильно ответил на все вопросы при защите задачи.

*71-85 баллов (хорошо):* работа выполнена в срок; оформление, алгоритм решения задачи образцовые; в задаче нет грубых математических ошибок; задача выполнена самостоятельно. Обучающийся при защите задачи правильно ответил на все вопросы с помощью преподавателя.

*51-70 баллов (удовлетворительно):* работа выполнена с нарушением графика; в оформлении, выбранном алгоритме решения задачи есть недостатки; задача не имеет грубых математических ошибок; задача выполнена самостоятельно. Обучающийся при защите задачи ответил не на все вопросы.



*Менее 51 балла (неудовлетворительно):* оформление работы не соответствует требованиям; выбран не верный алгоритм решения задачи; работа имеет грубые математические ошибки.

### **Критерии оценивания выполнения заданий в тестовой форме (текущий контроль формирования компетенций УК-2, ПК-2, ПК-3)**

По итогам выполнения тестовых заданий оценка производится по четырехбалльной шкале. При правильных ответах на:

86-100% заданий – оценка *«отлично»*;

71-85% заданий – оценка *«хорошо»*;

51-70% заданий – оценка *«удовлетворительно»*;

менее 51% - оценка *«неудовлетворительно»*.

### **Критерии оценивания курсовой работы при защите (промежуточный контроль формирования компетенций УК-2, ПК-2, ПК-3):**

*отлично:* работа выполнена в срок; содержательная часть доклада и чертежи соответствуют докладу; присутствуют заключение и аргументированные выводы. Обучающийся правильно ответил на все вопросы при защите проекта. Принимал активное участие в дискуссии.

*хорошо:* работа выполнена в срок; в содержательной части доклада и чертежах нет грубых ошибок. В докладе присутствуют рекомендации, заключения и аргументированные выводы. Обучающийся при защите проекта правильно ответил на все вопросы с помощью преподавателя. Принимал участие в дискуссии.

*удовлетворительно:* работа выполнена с нарушением графика; в структуре работы и чертежах есть недостатки; в докладе присутствуют собственные выводы. Обучающийся при защите проекта ответил не на все вопросы. Обучающийся не принимал участие в дискуссии.

*неудовлетворительно:* работа выполнена с нарушением графика; в работе и чертежах присутствуют серьезные ошибки; отсутствуют или сделаны неправильные выводы и рекомендации. Обучающийся не ответил на вопросы при защите проекта. Обучающийся не принимал участие в дискуссии.

## **7.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

### **Контрольные вопросы к зачету (промежуточный контроль)**

1. Основное уравнение гидростатики, его вывод и физический смысл. Техническое применение (дымовая труба, сифон, гидравлический пресс и др.)
2. Уравнение неразрывности потока. Уравнение расхода. Режимы течения жидкости.
3. Центробежные насосы. Устройство и принцип работы. Уравнение центробежного насоса Эйлера. Действительный и теоретический напор. Характеристика центробежных насосов. Работа насоса на сеть. Выбор насоса.
4. Способы разделения жидких и газовых неоднородных систем. Характеристика неоднородных систем.
5. Материальный баланс разделения.
6. Отстаивание. Кинетика отстаивания. Расчет отстойников
7. Основные характеристики зернистого слоя. Режимы псевдооживления. Зависимость сопротивления слоя от скорости газа
8. Расчет критических скоростей псевдооживления. Расчет диаметра аппарата с псевдооживленным слоем

9. Перемешивание в жидкой среде. Технические методы перемешивания. Показатели работы перемешивающих устройств
10. Режимы перемешивания. Расчет мощности, потребляемой мешалкой. Определяющее число оборотов.
11. Виды механических мешалок. Их сравнительная характеристика.
12. Способы передачи тепла. Сложная теплоотдача.
13. Тепловая нагрузка, удельный тепловой поток. Методы составления теплового баланса.
14. Теплопроводность. Температурное поле и температурный градиент. Теплопроводность многослойной стенки.
15. Кожухотрубчатые теплообменники с неподвижной трубной решеткой. Одно- и многоходовые. Области применения.
16. Конструкции кожухотрубчатых теплообменников с компенсацией температурных напряжений.
17. Теплообменники типа «труба в трубе». Устройство и принцип работы. Достоинства и недостатки.
18. Типы теплообменников. Смесительные теплообменники, барометрический конденсатор.

### **Контрольные вопросы к экзамену (промежуточный контроль)**

1. Технические методы выпаривания. Материальный баланс.
2. Схема однокорпусной выпарной установки.  
Тепловой баланс однокорпусной выпарной установки.
3. Многокорпусное выпаривание. Схемы питания раствором. Достоинства и недостатки.
4. Прямоточная схема МВУ. Явление самоиспарения. Расчет количества паров самоиспарения.
5. Температурный режим работы МВУ. Общая и полезная разность температур. Способы распределения полезной разности температур по корпусам.
6. Температурные потери и температура кипения раствора. Правило Бабо, правило Дюринга.
7. Гидростатическая и гидравлическая депрессии. Способы расчета.
8. Многокорпусное выпаривание. Тепловой баланс.
9. Многокорпусное выпаривание. Коэффициенты испарения и самоиспарения. Физический смысл.
10. Выпаривание. Расчет поверхности нагрева. Способы распределения полезной разности температур по корпусам.
11. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией.
12. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией.
13. Пленочные выпарные аппараты.
14. Механизм процесса массоотдачи. Уравнение массоотдачи. Расчет коэффициентов массоотдачи.
15. Вывести уравнение взаимосвязи между коэффициентом массопередачи и коэффициентами массоотдачи.
16. Механизм процесса массопереноса. Конвективная и молекулярная диффузия. Уравнения молекулярной и турбулентной диффузии.
17. Тарельчатый абсорбер с переливными устройствами. Типы тарелок и оценка их эффективности
18. Тарельчатый абсорбер с провальными тарелками. Устройство, принцип работы. Гидродинамические режимы.
19. Насадочный абсорбер. Устройство, требование к насадке. Гидродинамические ре-

- жимы работы.
20. Расчет средней движущей силы процесса массопередачи, если линия равновесия прямая.
  21. Массообменные процессы. Изображение рабочей и равновесной линий при прямотоке и противотоке. Определение движущей силы.
  22. Средняя движущая сила и число единиц переноса. Физический смысл единицы переноса
  23. Массообменные процессы. Статика. Равновесная линия. Коэффициент распределения.
  24. Оптимальный расход абсорбента.
  25. Критерии, характеризующие процессы массопередачи. Вывод критериев, их физический смысл.
  26. Расчет реального числа тарелок массообменного аппарата с помощью кинетической кривой (графо-аналитический способ).
  27. Массообменные процессы. Изображение рабочей и равновесной линий при прямотоке и противотоке. Определение движущей силы.
  28. Абсорбция. Закон Генри. Влияние температуры и давления на процесс абсорбции.
  29. Расчет средней движущей силы процесса массопередачи, если линия равновесия кривая.
  30. Материальный баланс абсорбции. Уравнение рабочей линии для прямотока и противотока.
  31. Число единиц переноса и методы его определения
  32. Расчет основных размеров массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз.
  33. Расчет основных размеров аппаратов со ступенчатым контактом фаз (диаметр и высота).
  34. Влияние удельного расхода абсорбента на величину движущей силы процесса и размеры абсорбера.
  35. Флегмовое число. Зависимость между флегмовым числом, размерами аппарата и расходом греющего пара и охлаждающей воды.
  36. Закон Рауля. Закон Дальтона. Правило Трутона. Азеотропные смеси.
  37. Перегонка. Диаграммы  $P - x$ ,  $t - x, y$ ,  $y - x$ .
  38. Простая перегонка. Физические основы перегонки с водяным паром. Расчет расхода острого пара. Области применения.
  39. Принципиальная схема ректификационной установки. Функциональное действие основных элементов.
  40. Материальный баланс ректификации. Способы расчета минимального флегмового числа
  41. Свойства реальных смесей взаиморастворимых жидкостей. Отклонения от закона Рауля (изобразить на диаграммах  $P-x$ ,  $t-x, y$ ,  $y-x$ ). II закон Коновалова и Вревского.
  42. Тепловой баланс ректификационной установки.
  43. Вывести уравнение рабочих линий для укрепляющей и исчерпывающей части ректификационной колонны.
  44. Физические основы процесса ректификации. Однократные равновесные испарения и конденсация. Изображение процесса на диаграмме  $t - x, y$ .
  45. Свойства идеальных смесей с неограниченной взаимной растворимостью. Законы Рауля, Дальтона, I закон Коновалова.

### Примеры практических работ (текущий контроль)

**Задача 1.** Рассчитать количество элементов батарейного циклона для очистки  $5,14 \text{ м}^3/\text{с}$  запыленного газа. Диаметр элемента батарейного циклона 200 мм. Коэффициент сопро-

тивления циклона 100. Принять отношение сопротивления циклона к плотности равным 800.

**Задача 2.** Определить режим течения воды в кольцевом пространстве теплообменника типа «труба в трубе». Наружная труба – 97х3,5 мм, внутренняя – 57х3 мм, расход воды 6,6 м<sup>3</sup>/ч, температура воды 30°С.

**Задача 3.** По стальному трубопроводу внутренним диаметром 200 мм, длиной 1000 м передается водород в количестве 120 кг/ч. Давление в сети 1530 мм.рт.ст. Температура газа 27°С. Определить потерю давления на трение.

**Задача 4.** Определить необходимую поверхность противоточного теплообменника для охлаждения 1550 кг/ч сероуглерода от температуры кипения под атмосферным давлением до 22°С. Охлаждающая вода нагревается от 24 до 35°С;  $\alpha_{CS_2} = 230 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ;  $\alpha_{H_2O} = 820 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  Толщина стальной стенки 2мм, суммарное сопротивление загрязнений  $\Sigma \zeta_{\text{загр.}} = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ . Определить также расход воды.

**Задача 5.** Определить рабочую скорость воздуха при псевдоожижении опилок диаметром 1 мм при температуре 50°С. Порозность слоя в начале псевдоожижения и в рабочих условиях составляют соответственно  $e_0 = 0,4$ ;  $e_0 = 0,7$ . Плотность опилок 800 кг/м<sup>3</sup>.

**Задача 6.** Рассчитать поверхность теплообмена пластинчатого подогревателя, в котором нагревается 2800 кг/ч изопропилового спирта от 15 до 81°С горячей водой, температура которой изменяется от 95 до 40°С. Коэффициент теплопередачи равен 300 Вт/м<sup>2</sup>К, средняя теплоемкость изопропилового спирта 2300 Дж/кг К.

### Задания в тестовой форме (текущий контроль)

- 1) При каком соотношении продолжительности пребывания потока газа в пылеосадительной камере и продолжительности осаждения частиц будет осаждаться пыль?
  - а) Продолжительность пребывания потока газа должна быть больше продолжительности осаждения частиц.
  - б) Продолжительность пребывания потока газа должна быть меньше продолжительности осаждения частиц.
  - в) Продолжительность пребывания потока газа должна быть равна продолжительности осаждения частиц.
  - г) Продолжительность пребывания потока газа должна быть больше или равна продолжительности осаждения частиц.
- 2) Для расчёта каких аппаратов необходимо знать скорость осаждения твёрдых частиц в вязкой среде?
  - а) Для расчёта фильтров, циклонов, электрофильтров, отстойных центрифуг.
  - б) Для расчёта отстойников, пылеосадительных камер, циклонов, электрофильтров и фильтрующих центрифуг.
  - в) Для расчёта отстойников и пылеосадительных камер, фильтров, электрофильтров и фильтрующих центрифуг.
  - г) Для расчёта отстойников и пылеосадительных камер, циклонов, электрофильтров и отстойных центрифуг.
- 3) По какой из написанных ниже формул можно рассчитать производительность пылеосадительной камеры  $V_{\Pi}$  высотой  $H$ , с площадью поперечного сечения  $f$  и площадью осаждения  $F$ .

$w_{\Gamma}$  - скорость газа,  $w_{oc}$  - скорость осаждения частиц

а)

$$V_{\Pi} = w_{\Gamma} \cdot F$$

б)

$$V_{II} = w_{oc} \cdot F$$

в)

$$V_{II} = \frac{H}{w_{II}} \cdot F$$

г)

$$V_{II} = w_{oc} \cdot f$$

4) **Какие силы действуют на частицу, падающую под действием силы тяжести в вязкой среде?**

- Сила трения и подъёмная сила среды.
- Сила инерции и сила внутреннего трения среды.
- Сила сопротивления среды и Архимедова сила.
- Сила внутреннего трения среды и сила давления.

5) **Известна производительность отстойника по осадку  $G_{oc}$  кг/час и концентрация твёрдой фазы в массовых долях в суспензии -  $\bar{x}_c$ , в осадке -  $\bar{x}_{oc}$ , в осветлённой жидкости -  $\bar{x}_{ocв}$ . По какой из написанных ниже формул можно рассчитать производительность установки по исходной суспензии  $G_c$  кг/час?**

а)

$$G_c = G_{oc} \cdot \frac{\bar{x}_{oc} - \bar{x}_c}{\bar{x}_{oc} - \bar{x}_{ocв}}$$

б)

$$G_c = G_{oc} \cdot \frac{\bar{x}_{oc} - \bar{x}_{ocв}}{\bar{x}_{oc} - \bar{x}_c}$$

в)

$$G_c = G_{oc} \cdot \frac{\bar{x}_{oc} - \bar{x}_{ocв}}{\bar{x}_c - \bar{x}_{ocв}}$$

г)

$$G_c = G_{oc} \cdot \frac{\bar{x}_{oc} - \bar{x}_c}{\bar{x}_{ocв} - \bar{x}_{oc}}$$

6) **Действие каких сил сопротивления среды преобладает при ламинарном и турбулентном движении твёрдой частицы в вязкой среде?**

- При турбулентном режиме преобладает действие сил инерции среды, при ламинарном – действие сил, обусловленных внутренним трением среды.
- При турбулентном режиме преобладает действие сил инерции твёрдой частицы, при ламинарном – действие сил, обусловленных внутренним трением среды.
- При турбулентном режиме преобладает действие сил инерции среды, при ламинарном – действие сил трения между средой и частицей.
- При турбулентном режиме преобладает действие сил инерции твёрдой частицы, при ламинарном – действие сил трения между средой и частицей.

7) **При каких значениях критериев  $Re$  и  $Ar$  действует ламинарный режим и турбулентная область осаждения частиц в вязкой среде?**

- При  $Re \leq 2300$  и  $Ar \leq 1000$  ламинарный режим, при  $Re \geq 10000$  и  $Ar > 50000$  турбулентная область.
- При  $Re \leq 1000$  и  $Ar \leq 20$  ламинарный режим, при  $Re \geq 100000$  и  $Ar \geq 100000$  турбулентная область.
- При  $10^{-4} \leq Re \leq 2$  и  $Ar \leq 36$  ламинарный режим, при  $Re \geq 500$  и  $Ar > 83000$  турбулентная область.
- При  $10^{-4} \leq Re \leq 1$  и  $Ar \leq 2$  ламинарный режим, при  $2 \geq Re \geq 10000$  и  $Ar > 10000$  турбулентная область.

- 8) При каких условиях наблюдается стеснённое осаждение твёрдых частиц в вязкой среде?
- При высокой вязкости среды.
  - При высокой плотности среды.
  - При высокой концентрации твёрдой среды.
  - При высокой плотности материала твёрдых частиц.
- 9) Под действием каких сил может происходить осаждение твёрдых частиц в вязкой среде?
- Под действием сил гидродинамического давления, центробежных сил, сил взаимодействия заряда частиц с электрическим полем.
  - Под действием сил тяжести, центробежных сил и сил взаимодействия заряда частиц с электрическим полем.
  - Под действием механических, центробежных и электростатических сил.
  - Под действием сил тяжести, сил гидродинамического давления и центробежных сил.
- 10) От каких параметров зависит производительность пылеосадительных камер?
- От скорости газового потока и площади осаждения.
  - От скорости осаждения пыли и площади поперечного сечения пылеосадительной камеры.
  - От скорости газового потока, площади осаждения и высоты камеры.
  - От скорости осаждения пыли и площади пылеосадительной камеры.

#### Вопросы к устному опросу по тематике лабораторных работ (текущий контроль)

- Варианты процесса сушки (рассказать по выбору).
- Пневматическая труба – сушилка. Устройство, принцип работы
- Материальный баланс сушки (баланс по потоку, твердому веществу, по влаге, по абсолютно - сухому веществу, по влаге с воздухом).
- Тепловой баланс конвективной сушилки
- Основные параметры влажного воздуха. Вывести расчетное уравнение взаимосвязи относительной влажности и влагосодержания воздуха
- Сушилка “кипящего слоя”. Устройство, принцип работы
- Кинетика сушки. Скорость сушки в первом и втором периодах. Физические основы деления на стадии. Факторы, влияющие на скорость конвективной сушки.
- Распылительная сушилка. Устройство, принцип работы
- Специальные виды сушки.
- Равновесие при сушке. Движущая сила процесса сушки. Формы связи влаги с материалом.
- Изображение основных процессов на  $I$ -х диаграмме (нагрев, охлаждение, сушка, смешение потоков).
- Барабанная сушилка. Устройство и принцип работы.
- Конструкции контактных сушилок.
- Кинетика процесса сушки. Кинетические кривые сушки.
- Теоретическая и действительная сушилка. Построение линии действительной сушилки на  $I$ -х диаграмме.

#### Вопросы, выносимые на защиту отчетных материалов к лабораторной / практической работе (текущий контроль)

##### *Лабораторная работа - Исследование кинетики сушки в конвективной сушилке*

- Какой технологический процесс называют сушкой?
- Что является движущей силой процесса сушки?

3. Что называют скоростью сушки?
4. Чем определяется скорость сушки в первом периоде?
5. Чем определяется скорость сушки во втором периоде? (Как иначе называют этот период?)
6. Что такое равновесное влагосодержание материала и от чего зависит его значение? Что такое критическое влагосодержание материала?
7. Как изменится температура материала в процессе конвективной сушки?
8. Почему при сушке влага в материале перемещается из внутренних слоев к поверхности?
9. Что такое относительная влажность воздуха?
10. По показаниям каких приборов и как можно найти относительную влажность воздуха, пользуясь диаграммой Рамзина?
11. Что такое удельный расход воздуха и теплоты?
12. Чем теоретическая сушилка отличается от действительной и как изображается на диаграмме Рамзина теоретический и действительный процессы сушки?
13. Каков физический смысл понятия «тепловой КПД сушилки»?

### **Пример тематики курсовых работ (промежуточный контроль)**

1. Проектирование ректификационных установок.
2. Проектирование выпарных установок.
3. Проектирование абсорбционных установок.
4. Проектирование барабанных сушилок.
5. Проектирование пневматической трубы-сушилки.
6. Проектирование аэрофонтанной сушилки.
7. Проектирование сушилки КС.
8. Проектирование распылительных сушилок.
9. Проектирование цилиндрических сушилок.
10. Проектирование фильтровальных установок.
11. Расчет подогревателей воздуха.

### **Вопросы, выносимые на защиту курсовых работ (промежуточный контроль)**

1. Основные и вспомогательные аппараты предлагаемой технологической схемы.
2. Движущая сила основных и вспомогательных процессов согласно технологической схеме.
3. Порядок расчета основных аппаратов.
4. Достоинства и недостатки основных аппаратов.
5. Принцип действия основных аппаратов.
6. Принципиальная схема ректификационной установки. Функциональное действие основных элементов.
7. Материальный баланс абсорбции. Уравнение рабочей линии для прямотока и противотока.
8. Число единиц переноса и методы его определения.
9. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией.
10. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией.
11. Пленочные выпарные аппараты.

#### 7.4. Соответствие шкалы оценок и уровней сформированных компетенций

Уровень сформированных компетенций	Оценка	Пояснения
Высокий	Отлично	<p>Теоретическое содержание курса освоено полностью, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены.</p> <p>Обучающийся демонстрирует способность анализировать технологические процессы и режимы работы действующих производств; определять характер движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; на высоком уровне владеет методами конструкторско-технологического анализа экобиозащитного оборудования производства с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду.</p>
Базовый	Хорошо	<p>Теоретическое содержание курса освоено полностью, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены с незначительными замечаниями.</p> <p>Обучающийся способен анализировать технологические процессы и режимы работы действующих производств, проводить обоснованный выбор аппаратуры для конкретного химико-технологического процесса, владеет методами конструкторско-технологического анализа экобиозащитного оборудования производства с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду</p>
Пороговый	Удовлетворительно	<p>Теоретическое содержание курса освоено частично, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, в них имеются ошибки.</p> <p>Обучающийся может под руководством анализировать технологические процессы и режимы работы действующих производств, использовать методы конструкторско-технологического анализа экобиозащитного оборудования производства с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду.</p>
Низкий	Неудовлетворительно	<p>Теоретическое содержание курса не освоено, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий либо не выполнены, либо содержат грубые ошибки; дополнительная самостоятельная работа над материалом не привела к какому-либо значительному повышению качества выполнения учебных заданий.</p> <p>Обучающийся не способен анализировать технологические процессы и режимы работы действующих производств, не умеет использовать методы конструкторско-технологического анализа экобиозащитного оборудования производства с учетом рационального использования природных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду.</p>

#### 8. Методические указания для самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа способствует закреплению навыков работы с учебной и научной литературой, осмыслению и закреплению теоретического материала по умению



аргументировано предлагать экологически безопасные технологии, включая обоснованный выбор метода и аппаратного оформления технологического процесса, позволяющие максимально минимизировать негативное антропогенное воздействия различных источников загрязнения атмосферы на воздушный бассейн.

Самостоятельная работа выполняется во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль в контроле за работой студентов).

*Формы самостоятельной работы* бакалавров разнообразны. Они включают в себя:

- знакомство с изучение и систематизацию официальных государственных документов: законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант Плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»

- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;

В процессе изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» основными видами самостоятельной работы являются:

- подготовка к аудиторным занятиям (лекциям, практическим и лабораторным занятиям) и выполнение соответствующих заданий;

- самостоятельная работа над отдельными темами учебной дисциплины в соответствии с учебно-тематическим планом;

- выполнение тестовых заданий;

- подготовка к зачету с оценкой / экзамену.

Самостоятельное выполнение *тестовых заданий* по всем разделам дисциплины сформировано в фонде оценочных средств (ФОС).

Данные тесты могут использоваться:

- бакалаврами при подготовке к экзамену в форме самопроверки знаний;

- преподавателями для проверки знаний в качестве формы промежуточного контроля на лабораторных и лекционных занятиях;

- для проверки остаточных знаний бакалавров, изучивших данный курс.

Тестовые задания рассчитаны на самостоятельную работу без использования вспомогательных материалов. То есть при их выполнении не следует пользоваться учебной и другими видами литературы. Для выполнения тестового задания, прежде всего, следует внимательно прочитать поставленный вопрос. После ознакомления с вопросом следует приступить к прочтению предлагаемых вариантов ответа. Необходимо прочитать все варианты и в качестве ответа следует выбрать индекс (буквенное обозначение), соответствующий правильному ответу. На выполнение теста отводится ограниченное время. Оно может варьироваться в зависимости от уровня тестируемых, сложности и объема теста. Как правило, время выполнения тестового задания определяется из расчета 120 секунд на один вопрос. Содержание тестов по дисциплине ориентировано на подготовку бакалавров по основным вопросам курса. Уровень выполнения теста позволяет преподавателям судить о ходе самостоятельной работы бакалавров в межсессионный период и о степени их подготовки к экзамену.

*Подготовка к практическим работам.*

Выполнение индивидуальной практической работы является частью самостоятельной работы обучающегося и предусматривает индивидуальную работу студентов с учебной, технической и справочной литературой по соответствующим разделам курса.

Целью практических занятий является закрепление практических навыков, полученных на лекционных занятиях, направленных на определение основных характеристик технологического оборудования, включая определение основных габаритных размеров аппарата, его гидравлического сопротивления, эффективности очистки.

Студент выполняет индивидуальное задание по варианту.

Руководитель из числа преподавателей кафедры осуществляет текущее руководство, которое включает: систематические консультации с целью оказания организационной и научно-методической помощи студенту; контроль над выполнением работы в установленные сроки; проверку содержания и оформления завершенной работы.

Практическая работа выполняется обучающимся самостоятельно и должна быть представлена к проверке преподавателю до начала экзаменационной сессии.

Студенты, не выполнившие практические работы, к сдаче (зачета) экзамена не допускаются. Работа должна быть аккуратно оформлена в печатном или письменном виде, удобна для проверки и хранения.

## **9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Для успешного овладения дисциплиной используются следующие информационные технологии обучения:

- при проведении лекций используются презентации материала в программе Microsoft Office (PowerPoint), выход на профессиональные сайты, использование видеоматериалов различных интернет-ресурсов.

- лабораторные занятия по дисциплине проводятся в специализированной учебной аудитории.

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся с использованием различного лабораторного оборудования, а также на лабораторных стендах-установках. На занятии обучающиеся изучают физико-химическую сущность технологических процессов, конструкции и технику обслуживания химической аппаратуры, определяют ее важнейшие характеристики, определяют факторы, влияющие на производительность и экономичность установок. Также студенты знакомятся с контрольно-измерительными приборами, методикой измерения и обработкой результатов измерения, приобретают навыки научного исследования.

На практических занятиях студенты отрабатывают навыки обоснованного выбора технологического оборудования, определения его основных габаритных размеров и технических характеристик.

В процессе изучения дисциплины учебными целями являются первичное восприятие учебной информации о теоретических основах и принципах работы с документами (карты, планы, схемы, регламенты), ее усвоение, запоминание, а также структурирование полученных знаний и развитие интеллектуальных умений, ориентированных на способы деятельности репродуктивного характера. Посредством использования этих интеллектуальных умений достигаются узнавание ранее усвоенного материала в новых ситуациях, применение абстрактного знания в конкретных ситуациях.

Для достижения этих целей используются в основном традиционные информативно-развивающие технологии обучения с учетом различного сочетания пассивных форм (лекция, лабораторное занятие, консультация, самостоятельная работа) и репродуктивных методов обучения (повествовательное изложение учебной информации, объяснительно-иллюстративное изложение) и лабораторно-практических методов обучения (выполнение расчетно-графических работ, расчет химического оборудования).

Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения:

- семейство коммерческих операционных систем семейства Microsoft Windows;
- офисный пакет приложений Microsoft Office;
- программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ»;

- двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения AutoCAD.

## 10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Реализация учебного процесса осуществляется в специальных учебных аудиториях университета для проведения занятий лекционного типа, лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Все аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. При необходимости обучающимся предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации.

Самостоятельная работа обучающихся выполняется в специализированной аудитории, которая оборудована учебной мебелью, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду УГЛТУ.

Есть помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

### Требования к аудиториям

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
Помещение для лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущей и промежуточной аттестации.	Столы и стулья; рабочее место, оснащено компьютером с выходом в сеть Интернет и электронную информационную образовательную среду, а также: экран, проектор,
Помещение для лабораторных занятий	Учебная лаборатория «Лаборатория процессов и аппаратов химической технологии», оснащенная лабораторными столами и стульями, следующим оборудованием: установка по измерению сопротивлений трубопроводов, установка по фильтрованию, установка по отстаиванию, установка по гидродинамике колонн, установка по абсорбции, установка для изучения работы циклона и кипящего слоя, установка для изучения кинетики сушки, установка для определения депрессии, установка для изучения процесса теплообмена, весы лабораторные технические, весы аналитические.
Помещение для практических занятий	Столы, стулья, экран, маркерная доска, рабочие места студентов, оснащены компьютерами с выходом в сеть Интернет и электронную информационную образовательную среду
Помещения для самостоятельной работы	Столы, стулья, экран, проектор. Рабочие места студентов, оснащены компьютерами с выходом в сеть Интернет и электронную информационную образовательную среду.
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования	Расходные материалы для ремонта и обслуживания техники. Места для хранения оборудования