

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**  
**(БГТУ им. В.Г. Шухова)**

УТВЕРЖДАЮ  
Директор института ХТИ  
Р. Н. Ястребинский

« 17 » мая 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**дисциплины**

Процессы и аппараты химической технологии

Специальность 18.05.02. Химическая технология материалов  
современной энергетики

Специализация 18.05.02–06 Ядерная и радиационная безопасность на объектах  
использования ядерной энергии

Квалификация  
инженер

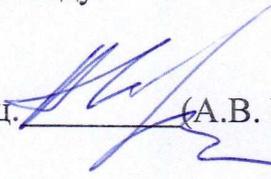
Форма обучения  
очная

Срок обучения  
5,5 года

Белгород – 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 г. № 922.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составитель: к.т.н., доц.  (А.В. Черкасов)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Теоретической и прикладной химии:

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, проф.  (В.И. Павленко)

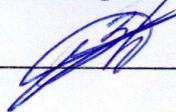
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Технологии цемента и композиционных материалов

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, проф.  (И.Н. Борисов)

« 14 » мая 2021 г., протокол № 19

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Технология стекла и керамики

Заведующий кафедрой: к.т.н., доц.  (В.А. Дороганов)

Рабочая программа одобрена методической комиссией химико-технологического института

« 15 » мая 2021 г., протокол № 9

Председатель канд. техн. наук, доцент  (Порожняк Л.А.)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-2. Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование в профессиональной и научно-исследовательской деятельности.	ОПК-2.1. Анализирует техническую документацию, проверяет техническое состояние, организует проверку оборудования и программных средств.	<p><b>Знать</b> принципы и уметь разрабатывать конструкции типового оборудования для осуществления типовых химико-технологических процессов.</p> <p>Знать основные методы интенсификации, повышения эффективности и оптимизации типовых химико-технологических процессов.</p> <p><b>Уметь</b> применять знания законов, теорий, уравнений, методов процессов и аппаратов химической технологии при изучении и разработке химико-технологических процессов.</p> <p>Уметь выполнять при разработке технических проектов технологический расчёт основных аппаратов химических технологий, включая материальный, термодинамический, тепловой, массообменный, гидравлический и экономический расчёты.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической</p>

			технологии; навыками проектирования промышленных аппаратов и определения оптимальных технологических режимов работы оборудования.
		ОПК-2.3. Владеет основами технологических процессов и осваивает с применением базовых навыков технологическое оборудование.	<p><b>Знать:</b> нормы контроля по соблюдению требований охраны труда и техники безопасности</p> <p><b>Уметь:</b> использовать приобретённые знания в области типовых процессов и аппаратов химической технологии для понимания природы более сложных физико-химических процессов и явлений, включая области нестационарных процессов, и процессов, осложнённых химическими превращениями;</p> <p>контролировать правила соблюдения требований охраны труда</p> <p><b>Владеть:</b> методами выбора стандартных аппаратов направленных на минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду; методами оценки процессов с целью обоснованного выбора стандартных аппаратов;</p> <p>основными нормами контроля по соблюдению требований охраны труда</p>
		ОПК-2.4. Осуществляет контроль технологического процесса в соот-	<b>Знать:</b> физическую сущность процессов химической техноло-

		<p>ветствии с регламентом и использует технические средства для измерения основных параметров технологического процесса.</p>	<p>гии;  конструкции аппаратов и принцип их работы; теоретические основы процессов химической технологии; законы, их описывающие.  <b>Уметь:</b> определять основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса; обоснованно составлять схемы установок с целью достижения оптимального результата.  <b>Владеть:</b> методами использования технических средств, для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции пользоваться справочной и научной литературой по всем разделам дисциплины; осуществлять типовые гидродинамические, тепловые, массообменные расчёты с использованием прикладных программ деловой сферы деятельности.</p>
--	--	--	---

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ОПК-2. Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование в профессиональной и научно-исследовательской деятельности.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Электротехника и промышленная электроника
2	Процессы и аппараты химической технологии
3	Аналитическая химия и физико-химические методы анализа
4	Общая химическая технология
5	Методы аналитического контроля в производстве материалов современной энергетики
6	Химические реакторы
7	Выполнение, подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зач. единиц, 324 часов.

Форма промежуточной аттестации зачет, экзамен

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 3	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины, час	324	144	180
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	144		
лекции	68	34	34
лабораторные	68	34	34
практические			
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	8	3	5
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	180	36	144
Курсовой проект			
Курсовая работа	36		36
Расчетно-графическое задание			
Индивидуальное домашнее задание			
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	108	54	54
Экзамен	36	зач	36

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 2 Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
Модуль 1: Основы гидравлики.					
	Тема 1. Классификация основных процессов. Основные определения.	1		4	5,0
	Тема 2. Процессы и аппараты химической технологии как наука: история её развития. Классификация основных процессов: непрерывные, периодические, комбинированные, стационарные, нестационарные, гидромеханические, тепло- и массообменные.	1		-	0,5
	Тема 3. Принципы расчета процессов и аппаратов: материальный и тепловой балансы; движущая сила процесса, интенсивность протекания и коэффициент интенсивности	1		-	0,5
	Тема 4. Основы теории переноса количества движения, тепловой энергии, количества вещества. Конвекция и молекулярная диффузия, уравнения, их описывающие. Аналогия процессов переноса субстанции. Обобщенные уравнения переноса.	1		-	0,5
	Тема 5. Основы физического и математического моделирования. Понятие констант и инвариантов подобия: симплексы и комплексы подобия: определяющие и определяемые критерии подобия.	1		-	0,5
	Тема 6. Метод анализа размерностей.	1		-	0,5
Модуль 2: Гидростатика.					
	Тема 1. Гидростатика.	1		4	5,0
	Тема 2. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера.	1		-	0,5
	Тема 3. Основное уравнение гидростатики, закон Паскаля.	1		-	0,5
	Тема 4. Практическое применение основного уравнения гидростатики	1		-	0,5
	Тема 5. Физические свойства жидкости.	1		-	0,5
	Тема 6. Принцип сообщающихся сосудов, тяга дымовой трубы	1		-	0,5

Модуль 3: Гидродинамика.					
Тема 1. Гидродинамика. Основные характеристики движения жидкости: скорости потока, объемный и массовый расходы: динамическая и кинематическая вязкости, закон Ньютона, виды и области применения вискозиметров: режимы движения жидкости.	1		8	9,0	
Тема 2. Гидродинамические критерии подобия: основные и производственные. Уравнение расхода и неразрывности потока.	1		-	0,5	
Тема 3. Дифференциальное уравнение движения идеальных жидкостей Эйлера.	1		-	0,5	
Тема 4. Уравнения для идеальных и реальных жидкостей, их физический и энергетический смыслы. Практическое применение уравнения Бернулли; измерение скорости и расхода жидкости: истечение жидкости через отверстия.	1		-	0,5	
Тема 5. Гидродинамическая структура потока. Строение пограничного слоя по Прандтлю. Гидравлические сопротивления трубопроводов - местные и трения. Влияние режима движения на сопротивление трения. Выбор оптимального диаметра трубопроводов.	1		-	0,5	
Тема 6. Влияние режимов течения на скорость движения двухфазных потоков. Гидродинамика "кипящего" слоя. Сопротивление взвешенного слоя. Пневмо – и гидротранспорт.	1		-	0,5	
Модуль 4: Перемещение жидкостей.					
Тема 1. Насосы центробежные,	1		8	9,0	
Тема 2. Насосы поршневые, специальные виды.	1		-	0,5	
Тема 3. Параметры работы насосов. Работа насосов на сеть. Принципы их подбора.	1		-	0,5	
Тема 4. Классификация машин для перемещения жидкостей и сжатия газов.	1		-	0,5	
Тема 5. Вентиляторы и дымососы. Характеристики их работы.	1		-	0,5	
Тема 6. Расчет и выбор центробежных вентиляторов.	1		-	0,5	
Модуль 5: Разделение неоднородных систем.					
Тема 1. Классификация гетерогенных систем. Виды гидромеханических процессов разделения жидких неоднородных систем.	1		8	9,0	
Тема 2. Разделение под действием гравитационных сил. Процесс осаждения, его движущая сила. Закон Стокса. Пути интенсификации процесса осаждения. Отстойники.	1		-	0,5	
Тема 3. Центрифугирование. Центрифуги: отстойные и фильтрующие. Фактор разделения, его физический смысл. Интенсификация процессов центрифугирования. Гидроциклоны, области их применения.	1		-	0,5	
Тема 4. Процесс фильтрования, общие сведения.					

	Движущая сила процесса фильтрации, пути ее создания. Классификация и области применения фильтровальных перегородок. Уравнение Дарси. Определение констант процесса Фильтрации. Пути интенсификации процесса.	1		-	0,5
	Тема 5. Разделение газовых неоднородных систем. Степень разделения. Разделение запыленных газов методом осаждения. Пылеосадительные камеры. Разделение запыленных газов под действием центробежных сил. Жалюзийный пылеосадитель. Циклоны, устройство и принцип действия. Расчет и подбор циклонов.	1		-	0,5
	Тема 6. Очистка газов фильтрацией. Рукавные фильтры. Расчет и подбор; рукавных фильтров. Мокрая очистка запыленных газов. Электрофильтры, устройство и принцип действия. Влияние проводимости пыли на процесс разделения запыленных газов.	1		-	0,5
Модуль 6: Перемешивание в жидких средах.					
	Тема 1. Общие сведения.	1		2	3,0
	Тема 2. Механическое перемешивание.	1		-	0,5
	Тема 3. Интенсивность и эффективность процесса перемешивания.	1		-	0,5
	Тема 4. Критерии подобия. Критерий мощности. Виды и области применения мешалок. Расчет и подбор мешалок.	1		-	0,5
ВСЕГО					
		34		34	54

## Курс 2 Семестр № 4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная ра- бота на подготовку к аудиторным заняти- ям
Модуль 7: Основы теплопередачи в химической аппаратуре.					
	Тема 1. Общие сведения. Температурное поле, температурный градиент. Классификация теплообменных процессов. Виды и области применения теплоносителей. Тепловые балансы.	2		2	5
	Тема 2. Передача тепла теплопроводностью. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок: одно- и многослойных. Расчет тепловой изоляции.	2		2	5
	Тема 3. Тепловое излучение. Закон Стефана. Закон Кирхгофа. Взаимное излучение двух твёрдых тел.	2		2	5
	Тема 4. Передача тепла конвекцией (конвективный теплообмен). Закон теплоотдачи Ньютона. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.	2		2	5
	Тема 5. Теплоотдача, её виды. Тепловой пограничный слой. Тепловые критерии подобия.	2		2	5
	Тема 6. Расчёт коэффициентов теплоотдачи. Значения коэффициентов теплоотдачи в промышленных теплообменных процессах.	2		2	5
	Тема 7. Расчет потерь тепла совместно конвекцией и излучением.	2		2	5
	Тема 8. Теплопередача. Аддитивность термических сопротивлений. Основное уравнение теплопередачи. Движущая сила процесса. Нагревание, охлаждение, конденсация. Общие сведения.	2		2	5
	Тема 9. Конструкции теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов. Нестационарный теплообмен. Выпаривание, общие сведения.	1		1	3
Модуль 8: Основы массопередачи.					

	<p>Тема 1. Виды процессов массообмена. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене. Материальный баланс. Рабочая и равновесная концентрации. Рабочая и равновесная линии. Определение направленности массопереноса. Скорость массообмена.</p> <p>Тема 2. Молекулярная диффузия. Турбулентная диффузия. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Конвективный массоперенос.</p> <p>Тема 3. Механизм процесса массопереноса. Модели процессов массопереноса. Массоотдача. Основное уравнение массоотдачи. Подобие процессов переноса массы. Массообмен. Уравнение массообмена. Движущая сила процессов массообмена.</p> <p>Тема 4. Аддитивность диффузионных сопротивлений. Объемные коэффициенты массоотдачи и массообмена. Пути интенсификации массообменных процессов.</p> <p>Расчет основных размеров массообменных аппаратов.</p> <p>Тема 5. Абсорбция, основные понятия. Перегонка жидкостей, основные понятия. Ректификация, основные понятия. Экстракция, основные понятия.</p> <p>Тема 6. Сушка. Классификация сушильных процессов. Виды связи влаги с материалом. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма Рамзина. Увлажнение и сушка воздуха.</p> <p>Тема 7. Материальный и тепловой балансы сушки. Параметры влажного материала. Кинетика сушки. Кинетические кривые. Изотерма сушки. Термодиффузия. Пути интенсификации процесса сушки. Удельная производительность по влаге и ее регулирование.</p> <p>Тема 8. Варианты процессов сушки. Устройство сушильных установок (туннельные, барабанные, сушилки «кипящего слоя», распылительные, высокочастотные).</p> <p>Тема 9. Мембранные процессы. Основные мембранные методы разделения. Основное уравнение мембранных процессов, движущая сила процесса. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации. Диализ, электродиализ.</p>	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1		2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	5 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
	Всего	34		34	54

**4.2. Перечень практических (семинарских) занятий.****Их содержание и объем в часах (аудиторных).****4.3. Перечень лабораторных занятий и объем в часах**

Курс 2 Семестр № 3

№ п/п	№ раздела дисциплины (в соответствии с п.5.1)	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
1.	Модуль 1: Основы гидравлики.	Вводное занятие. Инструктаж по технике безопасности. Основные уравнения гидростатики.	2 2
2.	Модуль 2: Гидродинамика.	Режимы движения жидкости. Гидравлическое сопротивление трубопроводов. Гидравлика «кипящего слоя».	6
3.	Модуль 3: Перемещение жидкостей.	Определение характеристик центробежного вентилятора.	6
4.	Модуль 4: Разделение неоднородных систем.	Разделение суспензий встойной центрифуге. Разделение суспензий в процессе фильтрования.	6
5.	Модуль 5: Основы теплопередачи в химической аппаратуре.	Изучение процесса теплопроводности. Исследование процесса теплопередачи.	6
6.	Модуль 6: Основы массопередачи.	Изучение процесса массопередачи. Основные параметры влажного воздуха. Исследование кинетики сушки. Изучение процесса конвективной сушки.	6
	<b>ИТОГО</b>		<b>34</b>

## Курс 2 Семестр № 4

№ п/п	№ раздела дисциплины (в соответствии с п.5.1)	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
1.	Основы теплопередачи в химической аппаратуре.	Изучение процесса теплопроводности. Исследование процесса теплопередачи.	17	17
2.	Основы массопередачи.	Изучение процесса массопередачи. Основные параметры влажного воздуха. Исследование кинетики сушки. Изучение процесса конвективной сушки.	17	17
	<b>ИТОГО</b>		<b>34</b>	<b>34</b>

**4.4. Содержание курсовой работы**  
**Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ,**  
**их краткое содержание и объем.**

Не предусмотрено учебным планом

**4.5. Содержание расчетно-графического задания,**  
**индивидуальных домашних заданий**

Не предусмотрено учебным планом

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1. Реализация компетенций

**1. Компетенция ОПК - 2.** Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование в профессиональной и научно-исследовательской деятельности.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ОПК-2.1. Анализирует техническую документацию, проверяет техническое состояние, организывает проверку оборудования и программных средств	Оформление отчета и защита лабораторных работ. Оформление и защита практических заданий. Зачет.
ОПК-2.3. Владеет основами технологических процессов и осваивает с применением базовых навыков технологическое оборудование	Оформление и защита курсовой работы.
ОПК-2.4. Осуществляет контроль технологического процесса в соответствии с регламентом и использует технические средства для измерения основных параметров технологического процесса	Оформление отчета и защита лабораторных работ. Экзамен.

### 5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для зачета

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Основы гидравлики	1. Основы гидравлики. Основные определения и некоторые физические свойства жидкости. 2. Основы теории переноса количества движения, тепловой энергии, количества вещества. Конвекция и молекулярная диффузия, уравнения, их описывающие. 3. Основы физического и математического моделирования. 4. Понятие констант и инвариантов подобия: симплексы и комплексы подобия: определяющие и определяемые критерии подобия.
2	Гидростатика	1. Основное уравнение гидростатики. 2. Практическое применение основного уравнения гидростатики.
3	Гидродинамика	1. Основные характеристики движения жидкости. Закон внутреннего трения Ньютона.

		<p>2. Режимы движения жидкостей. Механизмы ламинарного и турбулентного движения. Гидродинамический пограничный слой.</p> <p>3. Уравнение расхода и неразрывности потока. Способы расчета и определения расхода жидкостей.</p>
4.	Перемещение жидкостей.	<p>1. Выбор оптимального диаметра трубопроводов.</p> <p>2. Дифференциальное уравнение движения реальной жидкости.</p> <p>3. Уравнение Бернулли для идеальных и реальных жидкостей.</p> <p>4. Практическое применение уравнения Бернулли. Истечение жидкости через отверстия.</p> <p>5. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Расчет потерь давления на местные сопротивления.</p> <p>6. Сопротивления трения. Расчет коэффициентов гидравлического трения. Влияние режимов течения и шероховатости на гидравлическое трение.</p>
5.	Разделение неоднородных систем.	<p>1. Перемещение жидкостей. Классификация машин для перемещения жидкостей. Основные параметры работы насосов.</p> <p>2. Центробежный насос, характеристики его работы. Работа насосов на сеть.</p> <p>3. Принципы подбора центробежных машин. Законы пропорциональности.</p> <p>4. Поршневые насосы. Неравномерность подачи и способы ее ликвидации. Напор поршневых насосов.</p> <p>5. Движение тел в сплошных средах. Влияние режима движения на гидродинамику двухфазных потоков.</p> <p>6. Классификация гетерогенных систем. Гидромеханические методы их разделения.</p> <p>7. Осаждение частиц под действием сил тяжести. Факторы, влияющие на скорость процесса. Интенсификация процессов осаждения.</p> <p>8. Разделение в поле действия центробежных сил. Гидроциклоны.</p> <p>9. Циклоны, устройство и принцип действия. Расчет и подбор циклонов.</p> <p>10. Процесс центрифугирования и способы его интенсификации.</p> <p>11. Фильтрация гетерогенных систем. Классификация фильтровальных перегородок.</p> <p>12. Скорость процесса фильтрации, способы её ускорения. Константы процесса фильтрации, метод их определения.</p>
6.	Перемешивание в жидких средах.	<p>1. Гидродинамика взвешенного слоя. Области применения и физическая сущность гидротранспорта.</p> <p>2. Перемешивание в жидких средах. Общие сведения.</p> <p>3. Механическое перемешивание. Интенсивность и эффективность процесса перемешивания. Критерии подобия. Критерий мощности. Виды и области применения мешалок. Расчет и подбор мешалок.</p>
7.	Основы теплопередачи в химической аппаратуре.	<p>1. Основы теплопередачи в химической аппаратуре. Общие сведения. Температурное поле, температурный градиент.</p> <p>2. Классификация теплообменных процессов. Виды и области</p>

		<p>применения теплоносителей.</p> <p>3.Тепловые балансы теплообменников.</p> <p>4.Передача тепла теплопроводностью. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности.</p> <p>5.Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок: одно- и многослойных. Расчет тепловой изоляции.</p> <p>6.Тепловое излучение. Закон Стефана. Закон Кирхгофа. Взаимное излучение двух твёрдых тел.</p> <p>7.Передача тепла конвекцией (конвективный теплообмен). Закон теплоотдачи Ньютона.</p> <p>8.Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.</p> <p>9.Теплоотдача, её виды. Тепловой пограничный слой.</p> <p>10. Тепловые критерии подобия.</p> <p>11. Расчёт коэффициентов теплоотдачи. Значения коэффициентов теплоотдачи в промышленных теплообменных процессах.</p> <p>12. Расчет потерь тепла совместно конвекцией и излучением.</p> <p>13. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Движущая сила процесса.</p> <p>14. Аддитивность термических сопротивлений. Расчет теплообменных аппаратов.</p> <p>15. Нестационарный теплообмен.</p>
8.	Основы массопередачи.	<p>1.Основы массопередачи. Общие сведения. Виды процессов массопередачи.</p> <p>2.Способы выражения состава фаз. Равновесие при массопередаче. Материальный баланс.</p> <p>5.Рабочая и равновесная концентрации. Рабочая и равновесная линии. Определение направленности массопереноса. Скорость массопередачи. Молекулярная диффузия. Турбулентная диффузия. Конвективный массоперенос.</p> <p>6.Дифференциальное уравнение конвективной диффузии.</p> <p>7.Механизм процесса массопереноса. Модели процессов массопереноса.</p> <p>8.Массоотдача. Основное уравнение массоотдачи.</p> <p>9.Подобие процессов переноса массы.</p> <p>10. Массопередача. Уравнение массопередачи. Движущая сила процессов массопередачи. Аддитивность диффузионных сопротивлений.</p> <p>11. Расчёт основных размеров массообменных аппаратов. Объемные коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Пути интенсификации массообменных процессов.</p> <p>12. Абсорбция, основные понятия.</p> <p>13. Перегонка жидкостей, основные понятия.</p> <p>14. Ректификация, основные понятия.</p> <p>15. Экстракция, основные понятия.</p> <p>16. Сушка. Классификация сушильных процессов. Виды связи влаги с материалом.</p> <p>17. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма Рамзина.</p> <p>18. Увлажнение и сушка воздуха.</p> <p>19. Материальный и тепловой балансы сушки.</p>

		<p>20. Параметры влажного материала. Кинетика сушки. Кинетические кривые.</p> <p>21. Изотерма сушки. Термодиффузия.</p> <p>22. Пути интенсификации процесса сушки. Удельная производительность по влаге и ее регулирование.</p> <p>23. Варианты процессов сушки.</p> <p>24. Устройство сушильных установок (туннельные, барабанные, сушилки «кипящего слоя», распылительные, высокочастотные).</p> <p>25. Основные мембранные методы разделения. Основное уравнение мембранных процессов, движущая сила процесса.</p> <p>26. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации.</p> <p>27. Диализ, электродиализ.</p>
--	--	--

### **5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы**

Не предусмотрено учебным планом.

### **5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий.**

Не предусмотрено планом

### **5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий.**

Не предусмотрено планом

#### 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме зачета используется следующая шкала оценивания: зачтено, не зачтено.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

<i>Показатель оценивания</i>	<i>Критерий оценивания</i>
<i>Знания</i>	Знать принципы и уметь разрабатывать конструкции типового оборудования для осуществления типовых химико-технологических процессов. Знать основные методы интенсификации, повышения эффективности и оптимизации типовых химико-технологических процессов.
<i>Умения</i>	Уметь применять знания законов, теорий, уравнений, методов процессов и аппаратов химической технологии при изучении и разработке химико-технологических процессов. Уметь выполнять при разработке технических проектов технологический расчёт основных аппаратов химических технологий, включая материальный, термодинамический, тепловой, массообменный, гидравлический расчёты. Умение выбирать методы, обоснованно составлять схемы установок с целью достижения оптимального результата.
<i>Навыки</i>	Владеть навыками проектирования промышленных аппаратов и определения оптимальных технологических режимов работы оборудования.

##### 5.4.1. Критерии оценивания лабораторной работы.

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
5	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, присутствуют незначительные ошибки при описании теории, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допуская ошибки по существу рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

**5.4.2. Промежуточная аттестация** осуществляется в конце после завершения изучения дисциплины в форме **экзамена**.

Экзамен включает две части: теоретическую (2 вопроса) и практическую (1 задача). Для подготовки к ответу на вопросы и задания билета, который студент вытаскивает случайным образом, отводится время в пределах 30 минут. После ответа на теоретические вопросы билета, преподаватель задает дополнительные вопросы.

Распределение вопросов и заданий по билетам находится в закрытом для студентов доступе. Ежегодно по дисциплине на заседании кафедры утверждается комплект билетов для проведения экзамена по дисциплине. Экзамен является наиболее значимым оценочным средством и решающим в итоговой отметке учебных достижений студента.

*Типовой вариант экзаменационного билета*

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**  
**(БГТУ им. В.Г. Шухова)**

Кафедра ТЦКМ

Дисциплина ПАХТ Направление 18.05.02

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Классификация основных процессов химической технологии. Принципы расчета процессов и аппаратов.
2. . Подобие процессов массопереноса. Критерии диффузионного подобия, их физический смысл.
3. Задачи.

Одобрено на заседании кафедры «8» октября 2021 г., протокол № 2.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Борисов И.Н.

*Перечень вопросов для подготовки к экзамену*

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Основы гидравлики	28. Основы гидравлики. Основные определения и некоторые физические свойства жидкости. 29. Основы теории переноса количества движения, тепловой энергии, количества вещества. Конвекция и молекулярная диффузия, уравнения, их описывающие.
2	Гидростатика	3. Основное уравнение гидростатики. 4. Практическое применение основного уравнения гидростатики.
3	Гидродинамика	2. Основные характеристики движения жидкости. Закон внутреннего трения Ньютона. 2. Режимы движения жидкостей. Механизмы ламинарного и турбулентного движения. Гидродинамический пограничный слой.  3. Способы расчета и определения расхода жидкостей.
4.	Перемещение жидкостей.	7. Выбор оптимального диаметра трубопроводов. 8. Уравнение Бернулли для идеальных и реальных жидкостей. 9. Практическое применение уравнения Бернулли. Истечение жидкости через отверстия. 10. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Расчет потерь давления на местные сопротивления. 11. Сопротивления трения. Расчет коэффициентов гидравлического трения. Влияние режимов течения и шероховатости на гидравлическое трение.
5.	Разделение неоднородных систем.	13. Перемещение жидкостей. Классификация машин для перемещения жидкостей. Основные параметры работы насосов. 14. Центробежный насос, характеристики его работы. Работа насосов на сеть. 15. Принципы подбора центробежных машин. Законы пропорциональности. 16. Поршневые насосы. Неравномерность подачи и способы ее ликвидации. Напор поршневых насосов. 17. Движение тел в сплошных средах. Влияние режима движения на гидродинамику двухфазных потоков. 18. Классификация гетерогенных систем. Гидромеханические методы их разделения. 19. Осаждение частиц под действием сил тяжести. Факторы, влияющие на скорость процесса. Интенсификация процессов осаждения. 20. Разделение в поле действия центробежных сил. Гидроциклоны. 21. Циклоны, устройство и принцип действия. Расчет и

		<p>подбор циклонов.</p> <p>22. Процесс центрифугирования и способы его интенсификации.</p> <p>23. Фильтрование гетерогенных систем. Классификация фильтровальных перегородок.</p> <p>24. Скорость процесса фильтрования, способы её ускорения. Константы процесса фильтрования, метод их определения.</p>
6.	Перемешивание в жидких средах.	<p>4. Гидродинамика взвешенного слоя. Области применения и физическая сущность гидротранспорта.</p> <p>5. Перемешивание в жидких средах. Общие сведения.</p> <p>6. Механическое перемешивание. Интенсивность и эффективность процесса перемешивания. Критерии подобия. Критерий мощности.</p> <p>Виды и области применения мешалок. Расчет и подбор мешалок.</p>
7.	Основы теплопередачи в химической аппаратуре.	<p>16. Основы теплопередачи в химической аппаратуре. Общие сведения. Температурное поле, температурный градиент.</p> <p>17. Классификация теплообменных процессов. Виды и области применения теплоносителей.</p> <p>18. Тепловые балансы теплообменников.</p> <p>19. Передача тепла теплопроводностью. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности.</p> <p>20. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок: одно- и многослойных. Расчет тепловой изоляции.</p> <p>21. Тепловое излучение. Закон Стефана. Закон Кирхгофа. Взаимное излучение двух твёрдых тел.</p> <p>22. Передача тепла конвекцией (конвективный теплообмен). Закон теплоотдачи Ньютона.</p> <p>23. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.</p> <p>24. Теплоотдача, её виды. Тепловой пограничный слой.</p> <p>25. Тепловые критерии подобия.</p> <p>26. Расчёт коэффициентов теплоотдачи. Значения коэффициентов теплоотдачи в промышленных теплообменных процессах.</p> <p>27. Расчет потерь тепла совместно конвекцией и излучением.</p> <p>28. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Движущая сила процесса.</p> <p>29. Аддитивность термических сопротивлений. Расчет теплообменных аппаратов.</p>
8.	Основы массопередачи.	<p>3. Основы массопередачи. Общие сведения. Виды процессов массопередачи.</p> <p>4. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массопередаче. Материальный баланс.</p> <p>30. Скорость массопередачи. Молекулярная диффузия. Турбулентная диффузия. Конвективный массопе-</p>

		<p>ренос.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>31. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии.</li><li>32. Механизм процесса массопереноса. Модели процессов массопереноса.</li><li>33. Массоотдача. Основное уравнение массоотдачи.</li><li>34. Подобие процессов переноса массы.</li><li>35. Массопередача. Уравнение массопередачи. Движущая сила процессов массопередачи. Аддитивность диффузионных сопротивлений.</li><li>36. Расчёт основных размеров массообменных аппаратов. Объемные коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Пути интенсификации массообменных процессов.</li><li>37. Абсорбция, основные понятия.</li><li>38. Перегонка жидкостей, основные понятия.</li><li>39. Ректификация, основные понятия.</li><li>40. Экстракция, основные понятия.</li><li>41. Сушка. Классификация сушильных процессов. Виды связи влаги с материалом.</li><li>42. Основные параметры влажного воздуха. I-х диаграмма Рамзина.</li><li>43. Увлажнение и сушка воздуха.</li><li>44. Материальный и тепловой балансы сушки.</li><li>45. Параметры влажного материала. Кинетика сушки. Кинетические кривые.</li><li>46. Изотерма сушки. Термодиффузия.</li><li>47. Пути интенсификации процесса сушки. Удельная производительность по влаге и ее регулирование.</li><li>48. Варианты процессов сушки.</li><li>49. Устройство сушильных установок (туннельные, барабанные, сушилки «кипящего слоя», распылительные, высокочастотные).</li><li>50. Основные мембранные методы разделения. Основное уравнение мембранных процессов, движущая сила процесса.</li><li>51. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации.</li><li>52. Диализ, электродиализ.</li></ol>
--	--	--

## Типовые задачи к экзамену

**ЗАДАЧА 1**

По трубопроводу, состоящему из двух труб разного диаметра  $d_1$  и  $d_2$ , протекает жидкость, скорость потока которой  $v_1=0,8$  м/с. Определить скорость потока  $v_2$  и его расход (рис. 1).

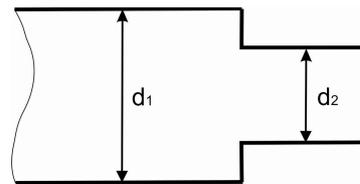


Рис. 1

Исходные данные	Вариант				
	№1	№2	№3	№4	№5
$d_1$ , м	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5
$d_2$ , м	0,6	0,7	0,9	0,9	1,1

**ЗАДАЧА 2**

Вода из одной емкости поступает в другую по трубопроводу диаметром  $d$  и расходом  $Q$ . Определить число Рейнольдса, если кинематическая вязкость воды  $\nu=1,307$  м<sup>2</sup>/с.

Исходные данные	Вариант				
	№1	№2	№3	№4	№5
$d$ , мм	40	43	46	47	50
$Q$ , л/с	6	6,5	7	7	9

**ЗАДАЧА 3**

При сжатии воды в цилиндре под поршнем давление в ней увеличилось на значение  $P$ . Необходимо определить конечный объем воды в цилиндре, если ее первоначальный объем составлял  $V_1$ , коэффициент объемного сжатия воды  $\beta_w=4,75 \times 10^{-10}$  1/Па.

Исходные данные	Вариант				
	№1	№2	№3	№4	№5
$P$ , кПа	3	4,2	5	6,1	7
$V_1$ , л	2,6	2,8	3,3	3,4	5

### Критерии оценивания экзамена.

Оценка преподавателем выставляется интегрально по всем показателям и критериям оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю **Знания**.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание теоретического содержания курса	Не знает теоретического содержания курса	Теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера. Обучающийся излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке правил.	Знает достаточно хорошо содержание курса, приемы первой помощи, методы защиты от чрезвычайных ситуаций.	Полностью знает содержание курса без пробелов; основные приемы первой помощи, методы защиты от чрезвычайных ситуаций.
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	Не знает основные закономерности и соотношения, принципы построения знаний	Знает основные закономерности, соотношения, принципы построения знаний	Знает основные закономерности, соотношения, принципы построения знаний, их интерпретирует и использует	Знает основные закономерности, соотношения, принципы построения знаний, может самостоятельно их получить и использовать
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает только основную материал дисциплины, не усвоил его деталей	Знает материал дисциплины в достаточном объеме	Обладает твердым и полным знанием материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Дает неполные ответы на все вопросы	Дает ответы на вопросы, но не все - полные	Дает полные, развернутые ответы на поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими схемами, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие схемы и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие рисунки и схемы корректно и понятно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

Оценка сформированности компетенций по показателю **Умения**.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Умение правильно применять на практике основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса	Не умеет правильно применять на практике основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса	Умеет правильно применять на практике основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса	Умеет правильно применять на практике основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса	Умеет правильно применять на практике основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса

Оценка сформированности компетенций по показателю **Навыки**.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владение навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	Не владеет навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	Владеет навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	Владеет навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	Владеет навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Материально-техническое обеспечение

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
№ 403 Учебная лаборатория	<p>В лаборатории имеются приборы и оборудование:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- весы аналитические ВЛТК-500; - центрифуга;</li> <li>- установка для определения режима движения жидкости (напорный бак, ёмкость с красителем, расходомер, термометр);</li> <li>- установка для определения гидравлических сопротивлений трубопроводов (вентиль, поворот, расширение</li> <li>- сужение, змеевик, газовый счетчик, дифференциальный манометр, лабораторный трансформатор, вентилятор);</li> <li>- установка для изучения гидравлики псевдоожидженного слоя (прозрачный вертикальный цилиндрический корпус, газовый счетчик, дифференциальный манометр, лабораторный трансформатор, вентилятор);</li> <li>- установка для определения характеристик центробежного вентилятора (центробежный вентилятор, ваттметр, трубка Пито, дифференциальный манометр); - установка для фильтрации суспензий под вакуумом (фильтр, вакуум-насос, мешалка, сборник фильтрата, вакуумметр, влагоотделитель, термометр); - установка для исследования влагосодержания материала и скорости процесса сушки (сушильный шкаф, смонтированные в шкаф весы);</li> <li>- установка для изучения процесса массопередачи (массообменный аппарат, термостат, влагоотделитель, вентилятор, расходомер, термометр, цифровой гигрометр);</li> <li>- трансформатор, переключатель температуры;</li> </ul>
№103, 212 - УК2	<p>Лекционные занятия проводятся в специально оборудованных учебных аудиториях, оснащенных мультимедийным комплексом и компьютерами.</p> <p>Для проведения лекционных и практических занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, самостоятельной работы</p>
№ 119 <sup>a</sup> - УК2	<p>Самостоятельная работа студентов осуществляется в кафедральной библиотеке и библиотеке БГТУ им. В.Г. Шухова.</p>

Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду
---	---

## 6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

## 6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс. – 2004. – 750 с.
2. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. - М.: Альянс, 2015. - 368 с.
3. *Смаль Д.В., Черкасов А.В., Осипов Ю.М.* Процессы и аппараты химической технологии. (Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по направлению 18.03.01 «Химическая технология»). - Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – Ч. 1.-77с.
4. *Смаль Д.В., Черкасов А.В., Осипов Ю.М., Коновалов В.М.* Процессы и аппараты химической технологии. (Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по направлению 18.03.01 «Химическая технология»). - Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – Ч. 2.- 114с.

5. Черкасов А.В., Смаль Д.В. Гидромеханические и гидростатические процессы: (методические указания к выполнению практических работ по направлению 18.03.01 «Химическая технология»). – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014.-18с.
6. Черкасов А.В., Смаль Д.В. Тепловые и массообменные процессы: (методические указания к выполнению практических работ по направлению 18.03.01 «Химическая технология»). – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014.-16с.
7. Черкасов А.В., Смаль Д.В., Ковалев С.В. Расчёт и проектирование сушильных установок (Учебное пособие) по направлениям подготовки 18.03.01 - Химическая технология, 18.03.02 Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 111 с.

#### **6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем**

1. **Сборник нормативных документов «СтройКонсультант»** [www.snip.ru](http://www.snip.ru) - Доступ осуществляется в зале электронных ресурсов НТБ (к.302).
2. <http://www.knigafund.ru/>
3. <http://www.ustu.ru/study/high/bachelor-specialist/khtf/resource/hft-res-prof/>
4. <http://paht.ruz.net/materials.htm>
5. <http://www.elibrary.ru/defaultx.asp>