

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

СОГЛАСОВАНО  
Директор института заочного  
образования  
С.Е. Спесивцева  
« 20 » мая 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ХТИ  
Р.Н. Ястребинский  
« 20 » мая 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины**

Процессы и аппараты химической технологии

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии

Направленность программы:

Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов в  
химической технологии вяжущих материалов

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

заочная

**Институт:** Химико-технологический

**Кафедра:** Технологии цемента и композиционных материалов

Белгород – 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 г. № 923.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составитель: к.т.н.  (Д.В. Смаль)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Технологии цемента и композиционных материалов

« 14 » \_\_\_\_\_ 2021 г., протокол № 19

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  (И.Н. Борисов)

Рабочая программа одобрена методической комиссией химико-технологического института

« 15 » \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2021 г., протокол № 9

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

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания
Естественно-научная подготовка	ОПК-1 Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов	ОПК-1.8 Применяет знания о химической структуре веществ, механизмах протекания химических реакций с целью совершенствования технологических процессов при решении задач химической технологии	<b>Знания:</b> основных принципов анализа и применения химических реакций, наблюдаемых в технологических процессах и окружающем мире, опираясь на знания о строении веществ. <b>Умения:</b> использовать знания о химических процессах, которые происходят при взаимодействии реагирующих веществ, опираясь при этом на особенности строения этих веществ <b>Навыки:</b> использования полученных знаний о химическом строении веществ, особенностях алгоритма прохождения химических взаимодействий для усовершенствования технологических подходов при решении возникающих проблем
Профессиональная методология	ОПК-2 Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач	ОПК-2.9 Использует основные законы естественнонаучных и технических дисциплин с применением различных методов расчета и анализа для решения задач в области	<b>Знания:</b> основных математических, химических и физических способов решения возникающих проблем в профессиональной сфере

	профессиональной деятельности	процессов и аппаратов химической технологии	<p><b>Умения:</b> использования основных законов естественных и технических дисциплин с применением широкого спектра методов расчета и дальнейшего анализа, при решении задач в области процессов и аппаратов химической технологии</p> <p><b>Навыки:</b> применения методов математики, химии, физики для решения задач в своей области деятельности, в частности процессов и аппаратов химической технологии</p>
--	-------------------------------	---	--

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

### 1. Компетенция ОПК-1

Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Общая и неорганическая химия
2	Органическая химия
3	Учебная ознакомительная практика
4	Коллоидная химия
5	Физическая химия
6	Процессы и аппараты химической технологии
7	Общая технология силикатов
8	Минералогия и кристаллография

## 2. Компетенция ОПК-2

Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Математика
2	Физика
3	Органическая химия
4	Инженерная графика и основы конструкторской документации
5	Электротехника и промышленная электроника
6	Аналитическая химия
7	Коллоидная химия
8	Физическая химия
9	Процессы и аппараты химической технологии
10	Общая технология силикатов
11	Производственная эксплуатационная практика
12	Производственная технологическая (проектно-технологическая) практика
13	Научно-исследовательская работа

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 зач. единиц, 360 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки.

Форма промежуточной аттестации дифференцированный зачет, экзамен.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 3	Семестр № 4	Семестр № 5
Общая трудоемкость дисциплины, час	360	32	138	190
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	22	2	8	12
лекции	10	2	4	4
лабораторные	8		4	4
практические	2			2
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	2			2
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	338	30	130	178
Курсовой проект				
Курсовая работа	36			36
Расчетно-графическое задания				
Индивидуальное домашнее задание				
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия,	266	30	130	106

лабораторные занятия)				
Экзамен	36			36

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

##### Курс 2 Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела	Кол-во лекционных часов	Самостоятельная Работа на подготовку к аудиторным занятиям
1	2	3	4
1.	<u>Модуль 1: Основы гидравлики.</u> Классификация основных процессов. Основные определения.	2	30
	<u>ВСЕГО:</u>	2	30

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

##### Курс 2 Семестр № 4

№ п/п	Наименование раздела	Кол-во лекционных часов	Самостоятельная Работа на подготовку к аудиторным занятиям
1	2	3	4
1.	<u>Модуль 1: Основы гидравлики.</u> Процессы и аппараты химической технологии как наука: история её развития. Классификация основных процессов: непрерывные, периодические, комбинированные, стационарные, нестационарные, гидромеханические, тепло– и массообменные. Физические свойства жидкости. Принципы расчета процессов и аппаратов: материальный и тепловой балансы; движущая сила процесса, интенсивность протекания и коэффициент интенсивности: расчет теоретически необходимых, объема или поверхности аппарата: технико-экономический расчет. Основы теории переноса количества движения, тепловой энергии, количества вещества. Конвекция и молекулярная диффузия, уравнения, их описывающие. Аналогия процессов переноса субстанции. Обобщенные уравнения переноса. Основы физического и математического моделирования. Понятие констант и инвариантов подобия: симплексы и комплексы подобия: определяющие и определяемые критерии подобия. Метод анализа размерностей.	2	40
2.	<u>Модуль 2: Гидростатика.</u> Гидростатика. Дифференциальное уравнение		

	<p>равновесия Эйлера. Основное уравнение гидростатики, закон Паскаля. Практическое применение основного уравнения гидростатики: пьезометр, манометр, принцип сообщающихся сосудов, тяга дымовой трубы.</p>		
3.	<p><u>Модуль 3: Гидродинамика.</u></p> <p>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. Гидродинамические критерии подобия: основные и производственные. Уравнение расхода и неразрывности потока.</p> <p>Дифференциальное уравнение движения идеальных жидкостей Эйлера.</p> <p>Уравнения для идеальных и реальных жидкостей, их физический и энергетический смыслы. Практическое применение уравнения Бернулли; измерение скорости и расхода жидкости: истечение жидкости через отверстия.</p> <p>Гидродинамическая структура потока. Строение пограничного слоя по Прандтлю. Гидравлические сопротивления трубопроводов - местные и трения. Влияние режима движения на сопротивление трения. Выбор оптимального диаметра трубопроводов.</p> <p>Влияние режимов течения на скорость движения двухфазных потоков. Гидродинамика "кипящего" слоя. Сопротивление взвешенного слоя. Пневмо – и гидротранспорт.</p>		40
4.	<p><u>Модуль 4: Перемещение жидкостей.</u></p> <p>Насосы центробежные, поршневые, специальные виды. Параметры работы насосов. Работа насосов на сеть. Принципы их подбора. Классификация машин для перемещения жидкостей и сжатия газов. Вентиляторы и дымососы. Характеристики их работы. Расчет и выбор центробежных вентиляторов.</p>		
5.	<p><u>Модуль 5: Разделение неоднородных систем.</u></p> <p>Классификация гетерогенных систем. Виды гидромеханических процессов разделения жидких неоднородных систем. Разделение под действием гравитационных сил. Процесс осаждения, его движущая сила. Закон Стокса. Пути интенсификации процесса осаждения. Отстойники.</p> <p>Центрифугирование. Центрифуги: отстойные и фильтрующие. Фактор разделения, его физический смысл. Интенсификация процессов центрифугирования. Гидроциклоны, области их применения.</p> <p>Процесс фильтрования, общие сведения. Движущая сила процесса фильтрования, пути ее создания.</p>	2	20

	<p>Классификация и области применения фильтровальных перегородок. Уравнение Дарси. Определение констант процесса Фильтрования. Пути интенсификации процесса.</p> <p>Разделение газовых неоднородных систем. Степень разделения. Разделение запыленных газов методом осаждения. Пылеосадительные камеры.</p> <p>Разделение запыленных газов под действием центробежных сил. Жалюзийный пылеосадитель. Циклоны, устройство и принцип действия. Расчет и подбор циклонов.</p> <p>Очистка газов фильтрованием. Рукавные фильтры. Расчет и подбор; рукавных фильтров. Мокрая очистка запыленных газов. Электрофильтры, устройство и принцип действия. Влияние проводимости пыли на процесс разделения запыленных газов..</p>		
6.	<p><u>Модуль 6: Перемешивание в жидких средах.</u></p> <p>Общие сведения. Механическое перемешивание. Интенсивность и эффективность процесса перемешивания. Критерии подобия. Критерий мощности. Виды и области применения мешалок. Расчет и подбор мешалок.</p>		30
	ВСЕГО	4	130

### Курс 3 Семестр № 5

№ п/п	Наименование раздела	Кол-во лекционных часов	Самостоятельная Работа на подготовку к аудиторным занятиям
1	2	3	4
1.	<p><u>Модуль 7: Основы теплопередачи в химической аппаратуре.</u></p> <p>Общие сведения. Температурное поле, температурный градиент. Классификация теплообменных процессов. Виды и области применения теплоносителей. Тепловые балансы.</p> <p>Передача тепла теплопроводностью. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок: одно- и многослойных. Расчет тепловой изоляции. Тепловое излучение. Закон Стефана. Закон Кирхгофа. Взаимное излучение двух твёрдых тел. Передача тепла конвекцией (конвективный теплообмен). Закон теплоотдачи Ньютона. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.</p> <p>Теплоотдача, её виды. Тепловой пограничный слой. Тепловые критерии подобия. Расчёт коэффициентов теплоотдачи. Значения коэффициентов теплоотдачи в промышленных теплообменных процессах.</p>	2	60



	<p>Расчет потерь тепла совместно конвекцией и излучением.</p> <p>Теплопередача. Аддитивность термических сопротивлений. Основное уравнение теплопередачи. Движущая сила процесса. Нагревание, охлаждение, конденсация. Общие сведения.</p> <p>Конструкции теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов. Нестационарный теплообмен. Выпаривание, общие сведения.</p>		
2.	<p><u>Модуль 8: Основы массопередачи.</u></p> <p>Виды процессов массопередачи. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массопередаче. Материальный баланс. Рабочая и равновесная концентрации. Рабочая и равновесная линии. Определение направленности массопереноса. Скорость массопередачи.</p> <p>Молекулярная диффузия. Турбулентная диффузия. Конвективный массоперенос. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Механизм процесса массопереноса. Модели процессов массопереноса.</p> <p>Массоотдача. Основное уравнение массоотдачи. Подобие процессов переноса массы.</p> <p>Массопередача. Уравнение массопередачи. Движущая сила процессов массопередачи. Аддитивность диффузионных сопротивлений. Объемные коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Пути интенсификации массообменных процессов. Расчёт основных размеров массообменных аппаратов. Абсорбция, основные понятия. Перегонка жидкостей, основные понятия. Ректификация, основные понятия. Экстракция, основные понятия.</p> <p>Сушка. Классификация сушильных процессов. Виды связи влаги с материалом. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма Рамзина. Увлажнение и сушка воздуха. 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>Варианты процессов сушки. Устройство сушильных установок (туннельные, барабанные, сушилки «кипящего слоя», распылительные, высокочастотные).</p> <p>Мембранные процессы. Основные мембранные методы разделения. Основное уравнение мембранных процессов, движущая сила процесса. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации. Диализ, электродиализ.</p>	2	52
	<u>ВСЕГО:</u>	4	106

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во лекц. часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<b>семестр № 5</b>				
1	Уравнение расхода и неразрывности потока	Расчёт расходов, скоростей	1	10
2	Режимы движения жидкостей	Эквивалентный диаметр и гидравлический радиус		
3	Уравнение Бернулли	Уравнение Бернулли. Гидравлические сопротивления		
4.	Насосы, вентиляторы, дымососы	Расчёт полных гидравлических сопротивлений сети, подбор вентиляторов и дымососов		
5.	Разделение гетерогенных систем	Расчёт и подбор циклонов	1	12
6.	Разделение неоднородных систем	Расчет и подбор рукавных фильтров		
7.	Тепловой баланс теплообменников	Теплообмен. Теплопроводность. Теплоотдача. Теплопередача. Промышленные способы передачи тепла		
8.	Сушка. тепловой баланс.	I-х диаграмма Рамзина. Сушка		
9.	Основы теплопередачи	Расчет потерь тепла совместно конвекцией и излучением.		
<b>ИТОГО:</b>			<b>2</b>	<b>22</b>

**4.3. Перечень лабораторных занятий и объем в часах**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторной работы	Кол-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<b>Семестр № 4</b>				

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторной работы	Кол-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<b>Семестр № 4</b>				
1.	Основы гидравлики. Гидростатики.	Вводное занятие. Инструктаж по технике безопасности. Основные уравнения гидростатики.	1	6
2.	Гидродинамика.	Гидравлическое сопротивление трубопроводов. Гидравлика «кипящего слоя».	1	6
3.	Перемещение жидкостей.	Режимы движения жидкости. Определение характеристик центробежного вентилятора.	1	6
4.	Разделение неоднородных систем.	Разделение суспензий в отстойной центрифуге. Разделение суспензий в процессе фильтрования.	1	6
	<b>ИТОГО</b>		<b>4</b>	<b>24</b>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторной работы	Кол-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<b>Семестр № 5</b>				
1.	Основы теплопередачи в химической аппаратуре.	Изучение процесса теплопроводности. Исследование процесса теплопередачи.	2	10

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторной работы	Кол-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<b>Семестр № 5</b>				
2.	Основы массопередачи.	Изучение процесса массопередачи. Основные параметры влажного воздуха. Исследование кинетики сушки. Изучение процесса конвективной сушки.	2	10
	<b>ИТОГО</b>		4	20

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

Расчетная часть включает в себя: введение, где необходимо указать достоинства и недостатки данного сушильного аппарата, объяснить выбранную схему подачи высушиваемого материала и сушильного агента, описать технологическую схему сушильной установки; материальный и тепловой балансы сушилки; построение процесса сушки на I-X диаграмме для летних и зимних условий; расчет и подбор вспомогательного оборудования; список используемой литературы.

Построенная I-X диаграмма обязательно подшивается в расчетно-пояснительную записку. Схема сушилки выполняется на листе Формата А-О или А-3.

**Тема: Рассчитать и спроектировать барабанную сушилку**

Варианты 00-09

Рассчитать и спроектировать барабанную сушилку для сушки кускового мела производительностью  $G_1$  (по влажному материалу). Мел высушивается от  $U_1$  до  $U_2$  (считая на общую массу). В сушилке осуществляется нормальный сушильный вариант. Температура воздуха на входе в сушилку  $t_1$ , на выходе –  $t_2$ . Давление пара в калорифере  $P$ . Исходные данные приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

№ п/п	Место строительства	$G_1$ , т/ч	$U_1$ , %	$U_2$ , %	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$P$ , кгс/см <sub>2</sub>
00.	Архангельск	0,5	8	0,8	105	40	1,5
01.	Брянск	0,6	9	0,9	110	40	1,7
02.	Вологда	0,7	10	1,0	115	40	1,9
03.	Воронеж	0,8	11	1,1	120	45	2,5
04.	Иваново	0,9	12	1,2	125	50	3,0

05.	Вятка (Киров)	1,0	13	1,3	130	55	3,5
06.	Курск	1,1	14	1,4	135	60	4,0
07.	Орел	1,2	15	1,5	140	65	4,5
08.	Тамбов	1,3	16	1,6	145	70	5,0
09.	Харьков	1,4	17	1,7	150	75	5,5

### Тема: Рассчитать и спроектировать сушилку "кипящего слоя"

#### Варианты 10-19

Рассчитать и спроектировать сушилку "кипящего слоя" для сушки каменной соли производительностью  $G_1$  (по высушенному материалу). Соль высушивается от  $U_1$  до  $U_2$  (считая на общую массу). Температура разбавленного воздухом топочных газов (продукт сгорания топлива - выбор по месту строительства) –  $t_1$ , температура отходящих газов –  $t_2$ . Исходные данные приведены в табл.2.

Таблица 2

№ п/п	Место строительства	$G_1$ , т/ч	$U_1$ , %	$U_2$ , %	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C
10.	Астрахань	15	7	0,4	700	115
11.	Баку	16	8	0,5	725	120
12.	Владивосток	17	9	0,6	750	125
13.	Казань	18	10	0,7	775	130
14.	Красноводск	19	11	0,8	800	130
15.	Николаев	20	12	0,9	825	135
16.	Одесса	21	13	0,8	800	125
17.	Пермь	22	14	0,7	775	120
18.	Ростов-на-Дону	23	15	0,6	750	115
19.	Томск	24	16	0,5	725	110

#### 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-1

Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
--	----------------------------------

<p>ОПК-1.8 Применяет знания о химической структуре веществ, механизмах протекания химических реакций с целью совершенствования технологических процессов при решении задач химической технологии</p>	<p><i>Защита лабораторных работ</i> <i>Защита курсовой работы</i> <i>Дифференцированный зачет</i> <i>Тестирование</i> <i>Экзамен</i></p>
--	--

## 2. Компетенция ОПК-2

Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
<p>ОПК-2.9 Использует основные законы естественнонаучных и технических дисциплин с применением различных методов расчета и анализа для решения задач в области процессов и аппаратов химической технологии</p>	<p><i>Защита лабораторных работ</i> <i>Защита курсовой работы</i> <i>Дифференцированный зачет</i> <i>Тестирование</i> <i>Экзамен</i></p>

## 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

### Общая процедура и сроки проведения оценочных мероприятий

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламентам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов. Объектом текущего контроля являются конкретизированные результаты обучения (учебные достижения) по дисциплине. Текущий контроль предусматривает проведение тестирования.

Текущий контроль осуществляется в течении семестра.

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Основы гидравлики	ОПК-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основы гидравлики. Основные определения и некоторые физические свойства жидкости.</li> <li>2. Основы теории переноса количества движения, тепловой энергии, количества вещества. Конвекция и молекулярная диффузия, уравнения, их описывающие.</li> <li>3. Основы физического и математического моделирования.</li> <li>4. Понятие констант и инвариантов подобия: симплексы и комплексы подобия: определяющие и определяемые критерии подобия.</li> </ol>
2	Гидростатика	ОПК-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основное уравнение гидростатики.</li> <li>2. Практическое применение основного уравнения гидростатики.</li> </ol>
3	Гидродинамика	ОПК-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные характеристики движения жидкости. Закон внутреннего трения Ньютона.</li> <li>2. Режимы движения жидкостей. Механизмы ламинарного и турбулентного движения. Гидродинамический пограничный слой.</li> <li>3. Уравнение расхода и неразрывности потока. Способы расчета и определения расхода жидкостей.</li> </ol>
4.	Перемещение жидкостей	ОПК-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор оптимального диаметра трубопроводов.</li> <li>2. Дифференциальное уравнение движения реальной жидкости.</li> <li>3. Уравнение Бернулли для идеальных и реальных жидкостей.</li> <li>4. Практическое применение уравнения Бернулли. Истечение жидкости через отверстия.</li> <li>5. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Расчет потерь давления на местные сопротивления.</li> <li>6. Сопротивления трения. Расчет коэффициентов гидравлического трения. Влияние режимов течения и шероховатости на гидравлическое трение.</li> </ol>
5.	Разделение неоднородных систем	ОПК-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перемещение жидкостей. Классификация машин для перемещения жидкостей. Основные параметры работы насосов.</li> <li>2. Центробежный насос, характеристики его работы. Работа насосов на сеть.</li> <li>3. Принципы подбора центробежных машин. Законы пропорциональности.</li> </ol>

			<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	ОПК-2	<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	ОПК-2	<p>1. Основы теплопередачи в химической аппаратуре. Общие сведения. Температурное поле, температурный градиент.</p> <p>2. Классификация теплообменных процессов. Виды и области 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	ОПК-2	<p>1. Основы массопередачи. Общие сведения. Виды процессов массопередачи.</p> <p>2. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массопередаче. Материальный баланс.</p> <p>3. Рабочая и равновесная концентрации. Рабочая и равновесная линии. Определение направленности массопереноса. Скорость массопередачи. Молекулярная диффузия. Турбулентная диффузия. Конвективный массоперенос.</p> <p>4. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии.</p> <p>5. Механизм процесса массопереноса. Модели процессов массопереноса.</p> <p>6. Массоотдача. Основное уравнение массоотдачи.</p> <p>7. Подобие процессов переноса массы.</p> <p>8. Массопередача. Уравнение массопередачи. Движущая сила процессов массопередачи. Аддитивность диффузионных сопротивлений.</p> <p>9. Расчёт основных размеров массообменных аппаратов. Объемные коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Пути интенсификации массообменных процессов.</p> <p>10. Абсорбция, основные понятия.</p> <p>11. Перегонка жидкостей, основные понятия.</p> <p>12. Ректификация, основные понятия.</p> <p>13. Экстракция, основные понятия.</p> <p>14. Сушка. Классификация сушильных процессов. Виды связи влаги с материалом.</p> <p>15. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма Рамзина.</p> <p>16. Увлажнение и сушка воздуха.</p> <p>17. Материальный и тепловой балансы сушки.</p> <p>18. Параметры влажного материала. Кинетика сушки. Кинетические кривые.</p> <p>19. Изотерма сушки. Термодиффузия.</p> <p>20. Пути интенсификации процесса сушки.</p>

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

### *Перечень вопросов для подготовки к экзамену*

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Основы гидравлики	ОПК-1	<p>1. Основы гидравлики. Основные определения и некоторые физические свойства жидкости.</p> <p>2. Основы теории переноса количества движения, тепловой энергии, количества вещества. Конвекция и молекулярная диффузия, уравнения, их описывающие.</p>
2	Гидростатика	ОПК-1	<p>3. Основное уравнение гидростатики.</p> <p>4. Практическое применение основного уравнения гидростатики.</p>
3	Гидродинамика	ОПК-1	<p>5. Основные характеристики движения жидкости. Закон внутреннего трения Ньютона.</p> <p>6. Режимы движения жидкостей. Механизмы ламинарного и турбулентного движения. Гидродинамический пограничный слой.</p> <p>7. Способы расчета и определения расхода жидкостей.</p>
4.	Перемещение жидкостей.	ОПК-1	<p>8. Выбор оптимального диаметра трубопроводов.</p> <p>7. Уравнение Бернулли для идеальных и реальных жидкостей.</p> <p>8. Практическое применение уравнения Бернулли. Истечение жидкости через отверстия.</p> <p>9. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Расчет потерь давления на местные сопротивления.</p> <p>10. Сопротивления трения. Расчет коэффициентов гидравлического трения. Влияние режимов течения и шероховатости на гидравлическое трение.</p>
5.	Разделение неоднородных систем.	ОПК-2	<p>13. Перемещение жидкостей. Классификация машин для перемещения жидкостей. Основные параметры работы насосов.</p>

			<p>14. Центробежный насос, характеристики его работы. Работа насосов на сеть.</p> <p>15. Принципы подбора центробежных машин. Законы пропорциональности.</p> <p>16. Поршневые насосы. Неравномерность подачи и способы ее ликвидации. Напор поршневых насосов.</p> <p>17. Движение тел в сплошных средах. Влияние режима движения на гидродинамику двухфазных потоков.</p> <p>18. Классификация гетерогенных систем. Гидромеханические методы их разделения.</p> <p>19. Осаждение частиц под действием сил тяжести. Факторы, влияющие на скорость процесса. Интенсификация процессов осаждения.</p> <p>20. Разделение в поле действия центробежных сил. Гидроциклоны.</p> <p>21. Циклоны, устройство и принцип действия. Расчет и подбор циклонов.</p> <p>22. Процесс центрифугирования и способы его интенсификации.</p> <p>23. Фильтрация гетерогенных систем. Классификация фильтровальных перегородок.</p> <p>24. Скорость процесса фильтрации, способы её ускорения. Константы процесса фильтрации, метод их определения.</p>
6.	Перемешивание в жидких средах.	ОПК-2	<p>25. Гидродинамика взвешенного слоя. Области применения и физическая сущность гидротранспорта.</p> <p>26. Перемешивание в жидких средах. Общие сведения.</p> <p>27. 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.	ОПК-2	<p>28. Основы теплопередачи в химической аппаратуре. Общие сведения. Температурное поле, температурный градиент.</p> <p>29. Классификация теплообменных процессов. Виды и области применения теплоносителей.</p> <p>30. Тепловые балансы теплообменников.</p> <p>31. Передача тепла теплопроводностью. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности.</p> <p>32. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок: одно- и многослойных. Расчет тепловой изоляции.</p> <p>33. Тепловое излучение. Закон Стефана. Закон Кирхгофа. Взаимное излучение двух твёрдых тел.</p> <p>34. Передача тепла конвекцией (конвективный теплообмен). Закон теплоотдачи Ньютона.</p>

			<p>35. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.</p> <p>36. Теплоотдача, её виды. Тепловой пограничный слой.</p> <p>37. Тепловые критерии подобия.</p> <p>38. Расчёт коэффициентов теплоотдачи. Значения коэффициентов теплоотдачи в промышленных теплообменных процессах.</p> <p>39. Расчет потерь тепла совместно конвекцией и излучением.</p> <p>40. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Движущая сила процесса.</p> <p>41. Аддитивность термических сопротивлений. Расчет теплообменных аппаратов.</p>
8.	Основы массопередачи.	ОПК-2	<p>42. Основы массопередачи. Общие сведения. Виды процессов массопередачи.</p> <p>43. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массопередаче. Материальный баланс.</p> <p>44. Скорость массопередачи. Молекулярная диффузия. Турбулентная диффузия. Конвективный массоперенос.</p> <p>45. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии.</p> <p>46. Механизм процесса массопереноса. Модели процессов массопереноса.</p> <p>47. Массоотдача. Основное уравнение массоотдачи.</p> <p>48. Подobie процессов переноса массы.</p> <p>49. Массопередача. Уравнение массопередачи. Движущая сила процессов массопередачи. Аддитивность диффузионных сопротивлений.</p> <p>50. Расчёт основных размеров массообменных аппаратов. Объемные коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Пути интенсификации массообменных процессов.</p> <p>51. Абсорбция, основные понятия.</p> <p>52. Перегонка жидкостей, основные понятия.</p> <p>53. Ректификация, основные понятия.</p> <p>54. Экстракция, основные понятия.</p> <p>55. Сушка. Классификация сушильных процессов. Виды связи влаги с материалом.</p> <p>56. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма Рамзина.</p> <p>57. Увлажнение и сушка воздуха.</p> <p>58. Материальный и тепловой балансы сушки.</p> <p>59. Параметры влажного материала. Кинетика сушки. Кинетические кривые.</p> <p>60. Изотерма сушки. Термодиффузия.</p> <p>61. Пути интенсификации процесса сушки. Удельная производительность по влаге и ее регулирование.</p> <p>62. Варианты процессов сушки.</p>

			63. Устройство сушильных установок (туннельные, барабанные, сушилки «кипящего слоя», распылительные, высокочастотные). 64. Основные мембранные методы разделения. Основное уравнение мембранных процессов, движущая сила процесса. 65. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации. 66. Диализ, электродиализ.
--	--	--	--

*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 18.03.02 – Энерго- и  
 ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
 нефтехимии и биотехнологии

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

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

Одобрено на заседании кафедры «14» сентября 2021 г., протокол № 2.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Борисов И.Н.

*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).

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  $\nu=1,307 \text{ м}^2/\text{с}$ .

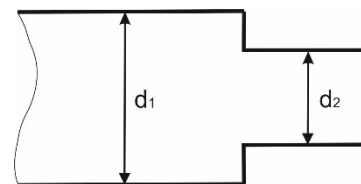


Рис. 1

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  $\beta_w=4,75 \times 10^{-10} \text{ 1/Па}$ .

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

### 5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсовой работы

№ п/п	Тема КР	Компетенция	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	<p>Рассчитать и спроектировать Барабанную сушилку для сушки кускового мела производительностью <math>G1</math> (по влажному материалу). Материальный расчет сушилки. Внутренний баланс сушильной камеры. Построение на диаграмме <math>I-x</math> процесса сушки воздухом. Расчет расходов сушильного агента. Расчет рабочего объема сушилки. Расчет параметров Барабанной сушилки. Расчет гидравлического</p>	ОПК-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как влияет выбор сырья и его влажность на технологическую схему процесса?</li> <li>2. Какие существуют способы сушильных установок?</li> <li>3. В чем преимущества барабанных сушилок при проведении процесса сушки перед другими типами аппаратов?</li> <li>4. Как рассчитать интенсивность работы сушильного аппарата?</li> <li>5. Объясните принцип работы прямоточного аппарата и противоточного, какая схема позволяет интенсифицировать теплообмен?</li> </ol>

	сопротивления сушильной установки.		Ответ обоснуйте.
2	Вспомогательные И дополнительные расчеты. Расчет плотности влажного воздуха. Расчет потери теплоты в окружающую среду. Расчет калорифера при сушке воздухом. Расчет питателей и затворов. Выбор и расчет пылеуловителей. Выбор вентиляторов и дымососов	ОПК-2	1. Приведите общую схему технологического производства сушки сырьевых материалов? 2. Какое топливо используется для получения сушильного агента? 3. Приведите в виде схемы последовательность операций при сушке сырьевых материалов?

### 5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Текущий контроль осуществляется в течение семестра в форме защиты лабораторных работ, выполнения заданий для самоподготовки, выполнение и защита задания по курсовой работе, решение разно-уровневых задач.

	<b>Компетенция ОПК-1.</b> Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.
1	В зависимости от основных законов, определяющих скорость протекания процессов, различают: 1. Гидродинамические. 2. Периодические. 3. Стационарные. 4. Тепловые. 5. Массообменные.
2	В зависимости от изменения параметров процесса во времени, различают: 1. Стационарные. 2. Периодические. 3. Массообменные. 4. Нестационарные.
3	Перенос импульса массы описывается уравнением: 1. $q = -\lambda \frac{dT}{dn}$ 2. $f = -\mu \frac{d\vartheta}{dn}$ 3. $m = -D \frac{dC}{dn}$ 4. $i = -\chi \frac{dU}{dn}$
4	Физическое моделирование основывается на: 1. Математической аналогии. 2. Составлении систем дифференциальных уравнений.

	<p>3. Теории подобия.</p> <p>4. Построении алгоритма расчетов исходя из математического описания законов природы, влияющих на протекание рассматриваемого процесса.</p>
5	<p>Критерий подобия это:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отношение безразмерного комплекса разнородных величин.</li> <li>2. Отношение однородных величин.</li> </ol>
6	<p>Укажите основное уравнение гидростатики:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g}</math></li> <li>2. <math>z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g}</math></li> <li>3. <math>h_{тр} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}</math></li> </ol>
7	<p>Определить абсолютное давление в аппарате, если показания манометра 0,2 ат:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1,2 ат.</li> <li>2. 3 ат.</li> <li>3. 0,8 ат.</li> </ol>
8	<p>Измерение давления в аппаратах, принцип сообщающихся сосудов, воздушный подъемник (газлифт), расчет дымовой трубы, работа гидравлического пресса основаны на:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. основном уравнении гидростатики</li> <li>2. уравнении Бернулли.</li> <li>3. уравнении Дарси.</li> </ol>
9	<p>К основным характеристикам движения жидкости относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Давление.</li> <li>2. Средняя скорость</li> <li>3. Массовый расход.</li> <li>4. Эквивалентный диаметр.</li> <li>5. Вязкость.</li> </ol>
10	<p>Закон внутреннего трения Ньютона описывается уравнением:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>q = -\lambda \frac{dT}{dn}</math></li> <li>2. <math>f = -\mu \frac{d\theta}{dn}</math></li> <li>3. <math>m = -D \frac{dC}{dn}</math></li> <li>4. <math>i = -\chi \frac{dU}{dn}</math></li> </ol>
11	<p>Ламинарному режиму движения жидкости соответствует численное значение критерия Рейнольдса:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Re = 10 000</li> <li>2. Re = 2320</li> <li>3. Re = 5000</li> </ol>
12	<p>Отношение сил инерции к силам вязкости показывает критерий:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фруда</li> <li>2. Эйлера</li> <li>3. Рейнольдса</li> <li>4. Архимеда.</li> </ol>
13	<p>Что называют гидравликой?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Науку, которая изучает равновесие и движение жидкостей</li> <li>2. Науку, которая изучает движение водных потоков</li> <li>3. Науку, которая изучает положение жидкостей в пространстве</li> <li>4. Науку, которая изучает взаимодействие водных потоков</li> </ol>



14	<p>Свойство жидкости оказывать сопротивление усилиям, вызывающим относительное перемещение ее частиц:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плотность</li> <li>2. Удельный вес</li> <li>3. Вязкость</li> <li>4. Давление</li> </ol>
15	<p>Сила, действующая на единицу длины поверхности раздела жидкости и соприкасающейся с ней среды называют:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Граничное натяжение</li> <li>2. Минимальное натяжение</li> <li>3. Приграничное натяжение</li> <li>4. Поверхностное натяжение</li> </ol>

	<p><b>Компетенция ОПК-2</b></p> <p>Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности.</p>
1	<p>Средняя скорость при турбулентном движении жидкости по трубопроводу определяется соотношением:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\omega_{\text{ср}} = 0,5 \omega_{\text{max}}</math></li> <li>2. <math>\omega_{\text{ср}} = 0,3 \omega_{\text{max}}</math></li> <li>3. <math>\omega_{\text{ср}} = 0,8 - 0,95 \omega_{\text{max}}</math></li> </ol>
2	<p>Укажите уравнение постоянства расхода жидкости.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>z + \frac{p}{\rho g} = \text{const}</math></li> <li>2. <math>z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} = \text{const}</math></li> <li>3. <math>\rho \omega S = \text{const}</math></li> </ol>
3	<p>Укажите основное уравнение гидродинамики для идеальной жидкости:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g}</math></li> <li>2. <math>Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g}</math></li> <li>3. <math>h_{\text{тр}} = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}</math></li> </ol>
4	<p>С помощью трубки Пито-Прандтля определяют:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Местную скорость</li> <li>2. Среднюю скорость.</li> <li>3. Фиктивную скорость.</li> </ol>
5	<p>Укажите формулу для определения эквивалентного диаметра кольцевого сечения трубопровода:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>d_3 = a^2</math>.</li> <li>2. <math>d_3 = D - d</math></li> <li>3. <math>d_3 = \frac{2ab}{a + b}</math></li> <li>4. <math>d_3 = \frac{D^2 - n \cdot d^2}{D + n \cdot d}</math></li> </ol>
6	<p>К динамическим насосам относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Центробежные.</li> <li>2. Осевые.</li> <li>3. Поршневые.</li> <li>4. Пластинчатые.</li> </ol>

7	<p>Коэффициент сопротивления среды для турбулентной области осаждения частицы в жидкой среде равен:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>\xi = \frac{24}{Re}</math></li> <li><math>\xi = \frac{18.5}{Re^{0.6}}</math></li> <li><math>\xi = const = 0.44</math></li> </ol>
8	<p>При расчете гидравлического сопротивления зернистого слоя используется зависимость:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>\Delta p = \lambda \frac{L}{d_s} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}</math></li> <li><math>\Delta p = \frac{3 \cdot (1 - \varepsilon)}{2 \varepsilon^3 \Phi} \lambda \frac{H}{d_s} \cdot \frac{\rho \omega_0^2}{2}</math></li> <li><math>\Delta p = \left( \lambda \frac{L}{d_s} + \sum \xi_i \right) \frac{\rho \omega^2}{2}</math></li> </ol>
9	<p>Укажите уравнение Стокса, описывающее процесс ламинарного осаждения твердой шарообразной частицы.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>\omega_{oc} = \frac{d^2 g (\rho_m - \rho)}{18 \mu}</math></li> <li><math>\omega_{oc} = \sqrt[3]{Ly \cdot \mu (\rho_m - \rho) g / \rho^2}</math></li> <li><math>\omega_{oc} = \frac{Re \cdot \omega}{\rho \cdot d}</math></li> </ol>
10	<p>Скорость процесса фильтрования описывается уравнением Дарси:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>\Delta p = \lambda \frac{L}{d_s} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}</math></li> <li><math>\frac{dV}{S d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu (r_0 \cdot x_0 \cdot h + R_{ф.н})}</math></li> <li><math>\omega = \frac{d^2 g (\rho_m - \rho)}{18 \mu}</math></li> </ol>
11	<p>Закон Фурье описывается уравнением:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>Q = K \cdot \Delta T_{cp} \cdot S</math></li> <li><math>dQ = -\lambda \frac{dt}{dn} dS d\tau</math></li> <li><math>dQ = \alpha \cdot (t_1 - t_2) \cdot dS d\tau</math></li> </ol>
12	<p>Закон Стефана-Больцмана для серых тел имеет вид:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_0}{A_0} = E_0</math></li> <li><math>E = \varepsilon \cdot C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4</math></li> <li><math>Q = C_{1-2} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F \tau \varphi</math></li> </ol>
13	<p>Молекулярная диффузия описывается законом Фика:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>dM = -D \frac{dC}{dn} dS d\tau</math></li> <li><math>dQ = -\lambda \frac{dt}{dn} dS d\tau</math></li> <li><math>dM_m = -E_0 \frac{dC}{dn} dS d\tau</math></li> </ol>
14	<p>Какие перегородки отличаются тем, что твердые частицы суспензии при ее распределении в основном задерживаются на их поверхности, не проникая в поры:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Поверхностные перегородки</li> <li>2) Гибкие перегородки</li> <li>3) Негибкие перегородки</li> </ol> <p>Глубинные перегородки</p>

15	....., представляет собой процесс разделения, при котором дисперсная фаза отделяется от дисперсионной среды под действием гравитационных сил 1.Центрифугирование 2.Адсорбция 3. Десорбция 4. Декантация
----	---

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

При промежуточной аттестации в форме экзамена и дифференцированного зачета используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

#### Критерии оценивания при получении дифференцированного зачета.

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 основной 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	Не владеет	Владеет	Владеет	Владеет навыками

навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	и	навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	и	навыками и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии	и	и методами проведения и обработки экспериментальных данных; методами технологических расчетов типовых процессов и аппаратов химической технологии
--	--	---	--	---	--	---	---

### Критерии оценивания курсовой работы.

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 основной материал дисциплины, не усвоил его	Знает материал дисциплины в достаточном объеме	Обладает твердым и полным знанием материала дисциплины, владеет дополни-

		деталей		тельными 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
---	---	--	--	--

### 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	Не знает значительной	Знает только основной	Знает материал дисциплины в	Обладает твердым и полным знанием

материала	части материала дисциплины	материал дисциплины, не усвоил его деталей	достаточном объеме	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
1	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук.
2	Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, самостоятельной работы	В лаборатории имеются приборы и оборудование: - весы аналитические ВЛТК-500; - центрифуга; - установка для определения режима движения жидкости (напорный бак, ёмкость с красителем, расходомер, термометр); - установка для определения Гидравлических сопротивлений трубопроводов (вентиль, поворот, расширение - сужение, змеевик, газовый счетчик, дифференциальный манометр, лабораторный трансформатор, вентилятор); - установка для изучения гидравлики псевдооживленного слоя (прозрачный

		<p>вертикальный цилиндрический корпус, газовый счетчик, дифференциальный манометр, лабораторный трансформатор, вентилятор);</p> <p>- установка для определения характеристик центробежного вентилятора (центробежный вентилятор, ваттметр, трубка Пито, дифференциальный манометр);</p> <p>- установка для фильтрации суспензий под вакуумом (фильтр, вакуум-насос, мешалка, сборник фильтрата, вакуумметр, влагоотделитель, термометр);</p> <p>- установка для исследования влагосодержания материала и скорости процесса сушки (сушильный шкаф, смонтированные в шкаф весы);</p> <p>- установка для изучения процесса конвективной сушки (сушильная камера, вентилятор, калорифер, трансформатор, расходомер, цифровой термометр, гигрометр, установка компрессорная УК-25-16м);</p> <p>- установка для изучения процесса массопередачи (массообменный аппарат, термостат, влагоотделитель, вентилятор, расходомер, термометр, цифровой гигрометр);</p> <p>- установка для определения теплопроводности материалов (экспериментальный блок) с компьютерным программным обеспечением;</p> <p>- трансформатор, переключатель температуры;</p> <p>- установка для изучения процесса теплопередачи (теплообменный аппарат типа «труба в трубе», термостат, ротаметр) с компьютерным программным обеспечением.</p>
3	Зал курсового и дипломного проектирования для проведения самостоятельной работы	<p>Специализированная мебель;</p> <p>мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук, компьютеры</p>
4	Читальный зал библиотеки для проведения самостоятельной работы	<p>Специализированная мебель;</p> <p>компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в</p>

	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.
4. *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.
5. *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.

6. 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.
7. 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. [www.snip.ru](http://www.snip.ru)
2. <https://elib.bstu.ru/>
3. <https://elibrary.ru>
4. <http://ntb.bstu.ru/>

## 7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа утверждена на 2021/2022 учебный год  
без изменений / с изменениями, дополнениями

Протокол № \_19\_ заседания кафедры от «14» мая 2021 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_  
подпись, ФИО