

**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 ЭИТУС  
канд. техн. наук, доц. Белоусов А.В.  
« 20 » 05 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)

**Термовлажностные и низкотемпературные  
теплотехнологические процессы и установки**

Направление подготовки (специальность):

**13.03.01 – ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Направленность программы (профиль, специализация):

**Энергетика теплотехнологии**

Квалификация

**бакалавр**

Форма обучения

**очная**

Институт: Энергетики, информационных технологий и управляющих систем

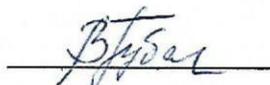
Кафедра: Энергетики теплотехнологии

Белгород 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утв. приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 143;
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составители: доцент

 (В.В. Губарева)

Рабочая программа обсуждена на заседании энергетики  
теплотехнологии

« 22 » 04 20 21 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой

Энергетики теплотехнологии

канд. техн. наук, доцент

 (Ю.В. Васильченко)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 20 » 05 20 21 г., протокол № 9

Председатель

канд. техн. наук, доцент

 (А.Н. Семернин)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Профессиональные	ПК-4. Способен разрабатывать схемы размещения объектов профессиональной деятельности в соответствии с технологией производства	ПК-4.1. Анализирует функции, а также параметры и характеристики рабочих процессов объектов профессиональной деятельности и определяет их место и назначение в технологической схеме производства продукции	<p><b>Знания:</b> схем размещения теплотехнологического оборудования различных производств, основные процессы, протекающие в термовлажностных и низкотемпературных установках, а также физические законы, которым они подчиняются; основные теплоносители, их свойства и характеристики; влияние параметров протекающих процессов и теплоносителей на основные показатели работы установок</p> <p><b>Умения:</b> выполнять отбор тепловых энергосберегающих схем размещения теплотехнологического оборудования различных производств, производить расчеты по подбору оптимальных условий протекания процессов и подбору оборудования</p> <p><b>Навыки:</b> навыками чтения тепловых схем, методиками теплотехнических расчетов, экспериментального и численного исследования и определения оптимальных режимов протекания термовлажностных и низкотемпературных процессов</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

**1. Компетенция ПК-4.** Способен разрабатывать схемы размещения объектов профессиональной деятельности в соответствии с технологией производства

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1.	История развития энергетики
2.	Теплофизические основы и организация технологических процессов
3.	Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки
4.	Паротеплогенерирующие установки промышленных предприятий
5.	Нагнетатели и тепловые двигатели
6.	Организация безопасной эксплуатации тепломеханического оборудования объектов энергетики
7.	Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и
8.	Проектирование и эксплуатация высокотемпературных установок
9.	Энергетический комплекс промышленных предприятий
10.	Основы трансформации тепла и процессов охлаждения
11.	Теплонасосные установки в энергетике
12.	Производственная технологическая практика
13.	Производственная преддипломная практика
14.	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зач. единицы, 252 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки: 7 зач. единиц

Форма промежуточной аттестации курсовой проект, экзамен

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины, час	252	252
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	90	90
лекции	34	34
лабораторные	17	17
практические	34	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации <sup>1</sup>	5	5
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	162	162
Курсовой проект	54	54
Курсовая работа	–	–
Расчетно-графическое задание	–	–
Индивидуальное домашнее задание	–	–
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	72	72
Экзамен	36	36

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 3 Семестр 5

№ 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
1	2	3	4	5	6
<b>1. Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и установки</b>					
<b>Общие сведения</b>					
1.	Основные виды промышленных процессов и аппаратов. Физическая сущность процессов и их классификация. Кинетические уравнения наиболее распространенных процессов. Классификация тепло- и массообменных аппаратов и установок.	1		1	2
2.	Виды теплоносителей. Основные свойства, преимущества, недостатки и области рационального применения газообразных, жидких и твердых теплоносителей.	1			1
<b>2. Теплообменные аппараты</b>					
1.	Классификация теплообменных аппаратов. Рекуперативные теплообменные аппараты. Классификация рекуператоров. Аппаратурно-технологическое оформление поверхностных рекуперативных теплообменников.	2			1
2.	Виды расчетов теплообменников. Тепловой конструктивный и поверочный расчет рекуперативных теплообменников.	4	9	4	15
3.	Особенности расчета рекуперативных теплообменных аппаратов периодического действия и компактных аппаратов с развитыми поверхностями теплообмена.	2	3		4
4.	Выбор оптимального варианта нормализованного рекуперативного теплообменного аппарата. Способы интенсификации теплообмена в рекуперативных теплообменниках.	1			1
5.	Регенеративные теплообменные аппараты. Аппаратурно-технологическое оформление регенераторов. Особенности теплообмена в регенераторах. Методы расчета регенераторов и перспективы их развития.	2	4		5
<b>3. Выпаривание и выпарные установки</b>					
1.	Общие теоретические сведения. Физические основы процесса выпаривания и свойства растворов. Классификация выпарных аппаратов.	1			1
2.	Аппаратурно-технологическое оформление выпарных установок: поверхностные выпарные аппараты; выпарные установки адиабатного испарения; контактные выпарные аппараты.	2			1

	Тепловые схемы многокорпусных выпарных установок.				
3.	Материальный и тепловой балансы одно- и многокорпусных выпарных установок.	1	4	2	7
4. Контактные (смесительные) теплообменные аппараты и установки					
1.	Фазовое равновесие при массопереносе. Уравнения равновесной и рабочей линий. Диаграммы состояния t-x-y, P-x и диаграмма равновесия y-x бинарных смесей.	1			1
2.	Абсорбционные и адсорбционные установки. Скрубберы полые и насадочные. Расчет насадочных аппаратов. Конденсаторы смешения, градирни. Основы расчета и подбора вентиляторных градирен.	2	4	4	9
3.	Общие сведения о дистилляции и ректификации. Основные схемы дистилляции. Схема ректификационной установки. Материальный и тепловой баланс ректификационной установки непрерывного действия.	2	2		3
5. Сушка и сушильные установки					
1.	Общие сведения о процессе сушки. Динамика сушки. Тепло и массообмен при сушке. Уравнения внешнего и внутреннего тепло и массообмена. Кинетика сушки. Расчет времени сушки.	2	2	4	7
2.	Конвективная сушка. Параметры сушильного агента. Материальный и тепловой балансы конвективных сушильных установок.	2	4		5
3.	Теплотехнологические схемы установок с однократным использованием сушильного агента, с рециркуляцией, с промежуточным подогревом, смесью воздуха с топочными газами. Графоаналитический метод расчета конвективных сушильных установок, определение их тепловой экономичности.	2		2	3
4.	Сушка жидкотекучих материалов: конструктивное оформление сушилок, основные энергетические показатели работы сушилок. Интенсификация работы распылительных сушилок. Новые схемы сушки распылением.	2			1
5.	Конструктивно-технологическое оформление установок для сушки штучных изделий и твердых дисперсных материалов (туннельные, барабанные, сушилки «кипящего слоя»). Основные эксплуатационные показатели работы этих сушилок.	1			1
6.	Выбор оптимального способа и режима сушки. Критерии оптимальности.	1			1
6. Вспомогательное оборудование теплотехнологических установок					
1	Основные виды и назначение вспомогательного оборудования. Основы подбора и расчета стандартного вспомогательного оборудования теплотехнологических установок	2	2		3
ВСЕГО		34	34	17	72

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
1.	Теплообменные аппараты	Элементы теплового конструктивного расчета поверхностных рекуперативных теплообменников.	5	5
		Элементы поверочного расчета поверхностных рекуперативных теплообменников.	3	3
		Контрольная работа.	1	1
		Расчет теплообменных аппаратов периодического действия и компактных аппаратов с развитыми поверхностями теплообмена	3	3
		Расчет регенеративных теплообменных аппаратов	4	4
2.	Выпаривание и выпарные установки	Выпаривание. Материальный и тепловой баланс однокорпусных выпарных установок.	4	4
3.	Смесительные (контактные) тепломассообменные аппараты и установки	Элементы расчета смесительных теплообменников (абсорберов, насадочных аппаратов, градирен).	4	4
		Ректификация. Материальный и тепловой балансы.	2	2
4.	Сушка и сушильные установки	Расчет кинетики сушки в первом и втором периодах. Определение времени сушки	2	2
		Определение параметров сушильного агента по I-x диаграмме и их аналитический расчет. Материальный и тепловой балансы конвективных сушильных установок.	4	4
5.	Вспомогательное оборудование теплотехнологических установок	Расчет стандартного вспомогательного оборудования теплотехнологических установок	2	2
<b>ИТОГО</b>			34	34
<b>ВСЕГО</b>			68	

### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
1.	Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и установки Общие сведения	Вводное занятие	1	1
2.	Теплообменные аппараты	Изучение процесса теплопередачи в теплообменнике «труба в трубе»	4	4
3.	Выпаривание и выпарные аппараты	Изучение процесса выпаривания в однокорпусной выпарной установке	2	2
4.	Контактные (смесительные) тепломассообменные аппараты и установки.	Определение тепловых потерь при обработке бетона в лабораторной пропарочной камере в период прогрева	4	4
5.	Сушка и сушильные установки	Исследование процесса сушки строительных материалов	4	4
		Изучение влияния температуры сушильного агента на входе в сушилку «кипящего слоя» на ее тепловую экономичность	2	2
ИТОГО			17	17
ВСЕГО				34

### 4.4. Содержание курсового проекта

Учебным планом предусмотрено выполнение курсового проекта.

В процессе выполнения курсового проекта работы осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудиториях и посредством электронной информационно-образовательной среды университета.

Унифицированная тема проекта «Расчет теплотехнологической установки»:	
1.	Расчет однокорпусной выпарной установки на заданные условия
2.	Расчет барабанной сушилки на заданные условия
3.	Расчет туннельной сушилки на заданные условия
4.	Расчет сушилки «кипящего слоя» на заданные условия
5.	Расчет распылительной сушилки на заданные условия
6.	Расчет кожухотрубного теплообменника на заданные условия
7.	Расчет теплообменника типа «труба в трубе» на заданные условия

Курсовой проект является заключительным этапом в изучении курса «Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и установки»:

При выполнении курсового проекта студент не только расширяет и закрепляет теоретически и практически знания, полученные при изучении дисциплины, но и овладевает навыками самостоятельного решения конкретных инженерных задач.

Получив тему курсового проекта, студент должен изучить имеющиеся достижения в этой области, выбрать наиболее рациональную теплотехнологическую схему, подобрать теплоноситель, выполнить материальный, тепловой и конструктивный расчет теплотехнологической установки, а также рассчитать и подобрать вспомогательное оборудование.

Объем расчетно-пояснительной записки 25...30 страниц рукописного текста.

Графическая часть проекта состоит из двух листов формата А 1. На первом листе должна быть представлена теплотехнологическая компоновочная схема установки, на втором – разрез основного аппарата и разрез одного из аппаратов вспомогательного оборудования или узла основного аппарата.

#### *Типовой вариант задания*

### **Исходные данные**

Выбрать рациональную теплотехнологическую схему, рассчитать и спроектировать барабанную сушилку для сушки известняка производительностью  $G_2$ , считая по высушенному материалу. Начальная влажность известняка  $\omega_1$ , конечная  $\omega_2$  (считать на общую массу).

В качестве сушильного агента используется смесь воздуха и продуктов горения топлива. Начальная температура сушильного агента  $t_1$ , конечная  $t_2$ . Топливо выбирается в зависимости от места расположения сушилки.

Исходные данные приведены в табл. 1 .

*Таблица 1*

Номер варианта	$G_2$ , т/ч	$\omega_1$ , %	$\omega_2$ , %	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	Район расположения сушилки
04	17,5	13,0	3,1	900	103	Новгород

### **4.5. Содержание расчетно-графического задания**

Не предусмотрено учебным планом.

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

### 5.1. Реализация компетенций

**Компетенция ПК-4.** Способен разрабатывать схемы размещения объектов профессиональной деятельности в соответствии с технологией производства

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-4.1. Анализирует функции, а также параметры и характеристики рабочих процессов объектов профессиональной деятельности и определяет их место и назначение в технологической схеме производства продукции	Экзамен, защита лабораторных работ, выполнение разноуровневых заданий на практических занятиях, защита курсового проекта

### 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Термовлажностные и низкотемпературные теплообменные процессы и установки. Общие сведения (ПК-4.1)	<ul style="list-style-type: none"><li>– Физическая сущность процессов, их классификация. Основные кинетические уравнения.</li><li>– Классификация теплообменных процессов по рабочему диапазону температур.</li><li>– Классификация процессов по организационно-технической структуре. Преимущества непрерывных процессов.</li><li>– Основные этапы расчётов процессов и установок.</li><li>– Расчёт технико-экономических показателей при проектировании.</li></ul>
2	Теплообменные аппараты (ПК-4.1)	<ul style="list-style-type: none"><li>– Основные теплофизические свойства и их влияние на выбор теплоносителей.</li><li>– Кожухотрубчатые, секционные, пластинчатые и спиральные теплообменники.</li><li>– Устройство, назначение и основные характеристики.</li><li>– Устройство и принцип действия вертикального испарителя.</li><li>– Уравнение теплового баланса 2-х поточных теплообменников для различных теплоносителей.</li><li>– Схемы теплового и поверочного расчётов рекуперативного теплообменника.</li><li>– Основные отличия теплового конструктивного расчёта от поверочного.</li><li>– Способы интенсификации теплообмена в рекуперативных теплообменниках.</li><li>– Особенности расчёта рекуперативных теплообменников периодического действия.</li></ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Регенеративные теплообменники. Устройство. Принцип действия. Применение.</li> <li>- Особенности теплового расчёта регенераторов (в отличие от рекуператоров).</li> <li>- Особенности расчёта компактных аппаратов с развитыми поверхностями теплообмена.</li> </ul>
3	Выпаривание и выпарные установки (ПК-4.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Выпаривание. Теоретические основы.</li> <li>- Поверхностные выпарные аппараты. Выпарные аппараты с центральной циркуляционной трубой.</li> <li>- Выпаривание. Выпарные аппараты адиабатного расширения.</li> <li>- Контактные выпарные аппараты. Выпарные аппараты с погружной горелкой.</li> <li>- Принципиальные схемы многокорпусной выпарной установки.</li> <li>- Свойства растворов подвергаемых выпариванию и материальный баланс однокорпусной выпарной установки.</li> <li>- Тепловой баланс однокорпусной выпарной установки.</li> <li>- Принципиальная схема расчёта многокорпусных выпарных установок.</li> </ul>
4	Контактные (смесительные) тепломассообменные аппараты и установки (ПК-4.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Смесительные тепломассообменные аппараты. Классификация. Преимущества и недостатки.</li> <li>- Фазовое равновесие. Уравнения равновесий и рабочей линии.</li> <li>- Определение направления массопередачи по Y-X диаграмме.</li> <li>- Устройство, принцип действия и основные характеристики полых, полочных и насадочных аппаратов.</li> <li>- Расчет насадочных аппаратов.</li> <li>- Дистилляция. Схемы простой дистилляции. Дефлегмация.</li> <li>- Ректификация. Схема установки и описание процесса.</li> <li>- Материальный и тепловой баланс ректификационных установок непрерывного действия</li> </ul>
5	Сушка и сушильные установки (ПК-4.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Общие сведения о сушке и методах обезвоживания материала.</li> <li>- Виды сушки и их характеристика.</li> <li>- Свойства влажных материалов и параметры сушильного агента.</li> <li>- Формы связи влаги с материалом. Классификация высушиваемых материалов по структуре.</li> <li>- Изотерма сорбции сушки.</li> <li>- Динамика сушки. Уравнения внешнего и внутреннего тепло - и массообмена. Характеристика коэффициентов в уравнениях диффузии.</li> <li>- Кинетика сушки. Кинетические кривые сушки. Периоды сушки.</li> <li>- Конвективная сушка. Классификация и характеристики сушильного агента.</li> <li>- Материальный баланс конвективных сушилок.</li> <li>- Принципы энергосберегающей технологии сушки.</li> <li>- Схема разработки аппаратурно-технологического оформления процесса сушки.</li> <li>- Оптимизация процессов сушки. Интенсификация процессов конвективной сушки.</li> <li>- Сушка жидкотекучих материалов. Конструкция сушилок,</li> </ul>

		<p>их принцип действия и эксплуатационные характеристики.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Распылительные сушилки.</li> <li>– Новые технологические схемы сушки распылением.</li> <li>– Сушка штучных, крупногабаритных материалов в сушилке. Принцип действия, устройство и эксплуатационных характеристики.</li> <li>– Сушка твёрдых дисперсных материалов. Сушилки с плотным, с полувзвешенным и взвешенным слоем материала.</li> <li>– Выбор оптимального способа и режима сушки. Критерии оптимальности.</li> </ul>
6	Вспомогательное оборудование теплотехнологических установок (ПК-4.1)	<p>Виды вспомогательного оборудования</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Топки и горелочные устройства.</li> <li>– Вентиляторы, дымососы и насосы.</li> <li>– Аппараты пылеочистки.</li> <li>– Питатели.</li> </ul>

## Перечень типовых задач для экзамена

### Индикатор ПК-4.1

#### Задача

В противоточном теплообменнике поверхностью  $12 \text{ м}^2$  необходимо охладить  $18 \text{ т/ч}$  метилового спирта от  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Охлаждение производится водой с начальной температурой  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  и конечной  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сколько  $\text{кг/ч}$  воды нужно пропускать через теплообменник? Определить коэффициент теплопередачи. Теплоемкость спирта  $C_{\text{сп}} = 2,6 \text{ кДж}/(\text{кг }^\circ\text{C})$ .

#### Задача

В теплообменник поступает сухой насыщенный водяной пар при избыточном давлении  $3 \text{ ат}$  и подогревают в нем  $29 \text{ т/ч}$  бензола от  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $72 \text{ }^\circ\text{C}$ . Найти поверхность теплообмена и расход насыщенного пара, если коэффициент теплопередачи равен  $1100 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{K}$ , а теплоемкость бензола -  $048 \text{ ккал}/(\text{кг }^\circ\text{C})$ .

#### Задача

Определить необходимую поверхность противоточного теплообменника при охлаждении  $0,85 \text{ м}^3/\text{ч}$  сероуглерода от температуры кипения под атмосферным давлением до  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Охлаждающая вода нагревается от  $14$  до  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоотдачи сероуглерода  $270 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ; коэффициент теплоотдачи воды  $720 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$ . Толщина стальной стенки  $3 \text{ мм}$ . Учесть наличие загрязнений – ржавчины и накипи, приняв  $\Sigma\Gamma_{\text{загр}} = 0,00069 \text{ (м}^2\cdot\text{K)}/\text{Вт}$ . Определить также расход воды.

#### Задача

В выпарном аппарате при атмосферном давлении упаривается  $2,8 \text{ т/ч}$  водного раствора от начальной концентрации  $5 \%$  до конечной  $28 \%$  (масс.). Разбавленный раствор поступает на выпарку с температурой  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Упаренный раствор выводится из аппарата при температуре  $96 \text{ }^\circ\text{C}$ . Удельная теплоемкость разбавленного раствора  $3,5 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C})$ . Определить потерю теплоты в окружающую среду, если к.п.д. установки составляет  $80\%$ .

### Задача

Определить требуемую поверхность и расход воды в дефлегматоре ректификационной колонны для разделения бензолно-толуольной смеси при следующих условиях: количество дистиллята 1200 кг/час; число флегмы 3,75; начальная и конечная температуры охлаждающей воды 10<sup>0</sup>С и 45<sup>0</sup>С; коэффициент теплопередачи 750 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Считать дистиллят за чистый бензол. Давление в колонне атмосферное.

### Задача

Определить массовую производительность дутьевого вентилятора для теоретической сушилки, в которой высушивается 1,8 т/ч влажного материала с начальной влажностью 27 %, конечной – 5 % (считая на общую массу). Параметры воздуха:  $I_0 = 35$  кДж/кг,  $\varphi_0 = 0,7$ ,  $I_2 = 105$  кДж/кг,  $\varphi_2 = 0,5$ . Определить также температуру воздуха на входе в сушилку.

### Задача

Найти средний потенциал сушки в теоретической сушилке при  $t_0=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_0 = 0,7\%$ ,  $t_2=50^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_2 = 0,4\%$ . Испарение идет при температуре мокрого термометра.

### Задача

В теоретической сушилке производительностью 3600 кг/ч (по высушенному материалу) высушивается материал от 10 % до 2 % влажности (считая на общую массу). Показания психрометра атмосферного воздуха 20<sup>0</sup>С и 15<sup>0</sup>С. Из сушилки воздух выходит с температурой 50<sup>0</sup>С и относительной влажностью 60 %.

Определить расход воздуха и расход теплоты на сушку.

---

**Промежуточная аттестация** осуществляется в конце семестра 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 90 минут. После получения ответа студента на вопросы билета и проверки решения задачи преподаватель при необходимости 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.

Кроме экзамена, значимым оценочным **средством текущего контроля знаний является тестирование** по отдельным разделам курса.

# Примерный перечень тестов для текущего контроля знаний:

## ТЕСТЫ (часть 1)

1. Гидродинамические процессы – это процессы, скорость которых определяется

- a. законами массопередачи;
- b. законами химической кинетики;
- c. законами гидродинамики;
- d. законами теплопередачи.

2. Какое из этих уравнений является основным кинетическое уравнением для массообменных процессов

a. - 1

b. - 2

c - 3

d – нет правильного ответа

1. 
$$\frac{dM}{Sd\tau} = \frac{\Delta C}{R_3} = K_3 \Delta C$$

2. 
$$\frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta P}{R_1} = K_1 \Delta P$$

3. 
$$\frac{dQ}{Sd\tau} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \Delta t$$

3. Преимущества непрерывных процессов перед периодическими:

- a. улучшение качества продукции за счет устойчивых режимов проведения процессов;
- b. лучшее регулирование, механизация и автоматизация процесса;
- c. более полное использование подводимого тепла, возможность рекуперации отводимого тепла;
- d. все перечисленные варианты верны.

4. Среднетемпературные процессы протекают при температурах

a. 150...700 °С;

b. –150...+150 °С;

c. 700...2000 °С;

d. нет правильного ответа.

5. В теплообменниках какого типа передача теплоты от одного теплоносителя к другому осуществляется через разделяющую стенку?

a. в рекуперативных теплообменниках;

b. в контактных теплообменниках;

c. в регенеративных теплообменниках;

d. во всех перечисленных типах теплообменников.

6. По взаимному направлению потоков рабочих сред теплообменники бывают

a. противоточными;

b. перекрестноточными;

c. прямоточными;

d. все перечисленные варианты верны.

7. Какие из перечисленных теплоносителей относятся к криогенным?

a. этиловый спирт;

b. жидкий гелий;

c. минеральные масла;

d. все перечисленные теплоносители.

8. Наибольшей теплопроводностью из перечисленных ниже теплоносителей обладают

a. кремнийорганические соединения;

b. дымовые газы;

c. жидкие металлы;

d. вода.

9. Теплоносители, обладающие большой теплоемкостью

a. аккумулируют малое количество теплоты в малом количестве массы;

b. аккумулируют большое количество теплоты в большом количестве массы;

c. аккумулируют малое количество теплоты в большом количестве массы;

d. аккумулируют большое количество теплоты в малом количестве массы.

10. Какой из перечисленных теплоносителей предпочтительно направлять в межтрубное пространство кожухотрубного теплообменника?

- a. дымовые газы;
- b. жесткую воду;
- c. пар;
- d. равнозначно любой из перечисленных теплоносителей.

11. Целью проведения теплового конструктивного расчета теплообменника является

- a. определение расходов теплоносителей;
- b. определение конечных температур теплоносителей;
- c. определение площади поверхности теплообмена;
- d. определение тепловой мощности аппарата.

12. Целью проведения теплового поверочного расчета теплообменника является

- a. определение площади поверхности теплообмена;
- b. определение конечных температур теплоносителей;
- c. определение площади поверхности теплообмена и конечных температур теплоносителей;
- d. нет правильного ответа.

13. Назовите исходные данные для теплового поверочного расчета теплообменного аппарата

- a. - расходы теплоносителей  $G_1$  и  $G_2$ ;
- b. - начальные температуры теплоносителей  $t_1^H$  и  $t_2^H$ ;
- c. - площадь поверхности теплопередачи  $S$ ;
- d. - все перечисленные выше варианты

14. Какое уравнение используется для определения поверхности теплообмена?

- a. - 1
  - b. - 2
  - c. - 3
  - d. - Нет правильного ответа
1.  $Q_r = D(i'' - i')$   
2.  $Q_x = G_x \cdot C_x \cdot (t_x - t_n) + Q_{oc}$   
3.  $Q = KS\Delta t_{cp}$

15. Какое из приведенных уравнений является уравнением теплового баланса для двух теплоносителей, один из которых меняет фазовое состояние.

- a. - 1
  - b. - 2
  - c. - 3
  - d. - нет правильного ответа
1.  $G_1 c_1 (t_1^H - t_1^K) \eta = G_2 c_2 (t_2^K - t_2^H)$   
2.  $G_1 (t_1^H - t_1^K) \eta = G_2 c_2 (t_2^K - t_2^H)$   
3.  $G_1 (t_1^H - t_1^K) \eta = G_2 (i_2^K - i_2^H)$

16. Термическое сопротивление незагрязненной поверхности теплообмена определяется как

- a. отношение толщины стенки к коэффициенту теплоотдачи;
- b. отношение толщины стенки к коэффициенту теплопроводности;
- c. отношение коэффициента теплоотдачи к толщине стенки;
- d. отношение коэффициента теплопроводности к толщине стенки.

17. По какой формуле определяется коэффициент теплопередачи для плоской незагрязненной стенки?

- a.  $K = \frac{1}{\alpha_1 + \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} + \alpha_2}$  ;
- b.  $K = \frac{1}{\alpha_1 + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \alpha_2}$  .
- c.  $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$  ;
- d.  $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$  ;

18. Какой расход теплоты необходим, чтобы нагреть воду в кожухотрубном теплообменнике от 50 °С до 70 °С? Расход воды 5 кг/с. Теплоемкость воды принять равной 4,2 кДж/(кг·°С). Потери теплоты в подогревателе пренебречь.

- a. 100 кВт;

- b. 420 кВт;
- c. 21 кВт;
- d. нет правильного ответа.

**19. Определите расход нагреваемой воды в поверхностном теплообменнике, если количество теплоты, передаваемое греющим теплоносителем – 10 МВт. Температура нагреваемой воды перед теплообменником равна 70 °С, после него 150 °С. Теплоемкость воды принять равной 4,2 кДж/(кг·°С). Потери теплоты в теплообменнике пренебречь.**

- a.  $\approx 0,03$  кг/с;
- b.  $\approx 30$  кг/с;
- c.  $\approx 190,5$  т/ч;
- d. нет правильного ответа.

**20. В прямоточном теплообменнике один теплоноситель, охлаждаясь от температуры 50 °С до температуры 40 °С, нагревает другой теплоноситель от температуры 10 °С до температуры 15 °С. Определите средний температурный напор.**

- a. 32,5 К;
- b. 15 К;
- c. 65 К;
- d. нет правильного ответа.

**21. Коэффициент теплопередачи в теплообменнике составляет 1,5 кВт/(м<sup>2</sup>·К), а поверхность теплообмена – 2 м<sup>2</sup>. Определите количество теплоты, передаваемое от горячего теплоносителя холодному, если средний температурный напор равен 50 К.**

- a. 37,5 кВт;
- b. 150 кВт;
- c. 15 Вт;
- d. нет правильного ответа.

**22. Если при конструктивном тепловом расчете теплообменника расчетная поверхность теплообмена получилась на 10...15 % больше эскизной, то**

- a. необходимо полностью повторить расчет;
- b. определение основных размеров аппарата можно считать законченным;
- c. необходимо на чертеже увеличить поверхность теплообмена на 10–15 %;
- d. необходимо на чертеже уменьшить поверхность теплообмена на 10–15 %.

**23. При турбулизации потока в теплообменнике**

- a. повышается коэффициент теплоотдачи и понижается гидравлическое сопротивление;
- b. повышается коэффициент теплоотдачи и повышается гидравлическое сопротивление;
- c. понижается коэффициент теплоотдачи и повышается гидравлическое сопротивление;
- d. понижается коэффициент теплоотдачи и понижается гидравлическое сопротивление.

**24. В каком случае в трубчатых теплообменниках делают одностороннее оребрение?**

- a. если  $\alpha_1 \ll \alpha_2$  или  $\alpha_1 \gg \alpha_2$
- b. если  $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = \frac{1}{\alpha_1}$
- c. если  $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} \ll \frac{1}{\alpha_1}$  или  $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} \ll \frac{1}{\alpha_2}$
- d. нет правильного ответа

**25. К недостаткам спиральных теплообменников относится**

- a. большие габариты;
- b. высокая стоимость;
- c. большие тепловые потери в окружающую среду;
- d. все вышеперечисленное.

**26. Основными недостатками регенеративных теплообменных аппаратов являются**

- a. возможность смешивания нагреваемого и охлаждаемого теплоносителей в процессе работы и значительные напряжения, обусловленные разностью давлений теплоносителей;
- b. сложность расчета таких аппаратов и возможность смешивания нагреваемого и охлаждаемого теплоносителей в процессе работы;
- c. значительные напряжения, обусловленные разностью давлений теплоносителей и сложность расчета таких аппаратов;

d. нет правильного ответа.

**27. Какой показатель характеризует компактность теплообменников?**

- a. площадь теплообменных поверхностей;
- b. отношение площади поверхностей теплообмена к занимаемому ими объему;
- c. объем, занимаемый теплообменными поверхностями;
- d. нет правильного ответа.

**28. В чем отличия регенеративных теплообменников от рекуперативных?**

- a. в способе передачи теплоты;
- b. в рабочем диапазоне температур;
- c. в режиме работы;
- d. все перечисленное.

**29. Назовите рабочий диапазон температур регенераторивных воздухоподогревателей с вращающейся насадкой**

- a. 400...600 °C;
- b. 250...350 °C;
- c. 600...1200 °C;
- d. 1500...17000 °C.

**30. Из каких уравнений можно определить требуемую поверхность насадки регенератора**

- a.  $Q = KS\Delta t_{cp}$  ;
- b.  $Q_{ц} = W_{н} (t_{н}^н - t_{н}^к) = K_{ц} \Delta t_{cp} S_{нас}$  ;
- c.  $Q_{ц} = K_{ц} S (\bar{t}_{н} - \bar{t}_{ок}) = \alpha_{н} \tau_{н} (\bar{t}_{н} - \bar{\theta}_{н}) S = \alpha_{ок} \tau_{ок} (\bar{\theta}_{ок} - \bar{t}_{ок}) S$  ;
- d.  $Q = \alpha S \Delta t_{cp}$

**31. Что называется процессом выпаривания?**

- a. процесс разделения жидких смесей, основанный на разности плотностей;
- b. процесс испарения растворителя из растворов твердых нелетучих веществ;
- c. процесс разделения жидких смесей, основанный на разной температуре кипения;
- d. нет правильного ответа

**32. Каким из приведенных ниже уравнений описывается процесс выпаривания в аппарате непрерывного действия?**

- a.  $Q = k s \Delta t_{cp} \tau$  ;
- b.  $Q = \alpha S (t_{см} - t_{ж})$ ;
- c.  $Q = k S \Delta t_{cp}$
- d.  $Q = k S \Delta t_{пол}$

**33. В каком из выпарных аппаратов необходим перегрев исходного раствора?**

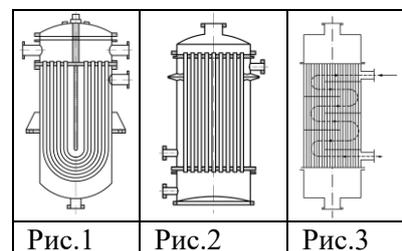
- a. с погружными горелками;
- b. адиабатного (мгновенного) испарения;
- c. поверхностном;
- d. нет правильного ответа

**34. Расход греющего пара: в многокорпусной выпарной установке, работающей под атмосферным давлением по сравнению с выпарной установкой, работающей под вакуумом**

- a. ниже;
- b. выше;
- c. одинаков;
- d. нет правильного ответа

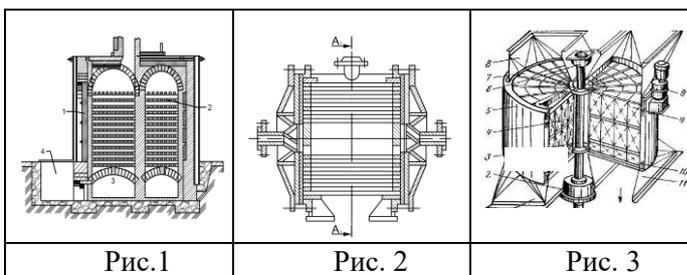
**35. На каком из приведенных рисунков изображен кожухотрубный теплообменник с линзовым компенсатором?**

- a. Рис. 1;
- b. Рис. 2;
- c. Рис. 3;
- d. На всех трех рисунках.



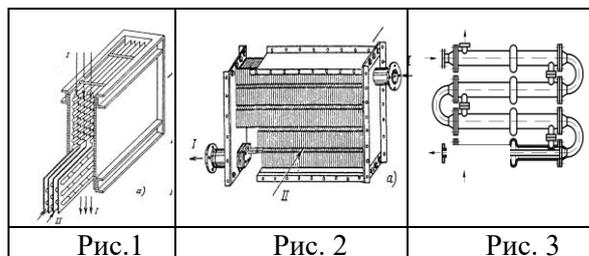
36. На каком из приведенных рисунков изображен регенеративный теплообменник с подвижной насадкой?

- a. Рис. 1;
- b. Рис. 2;
- c. Рис. 3;
- d. На всех трех рисунках.



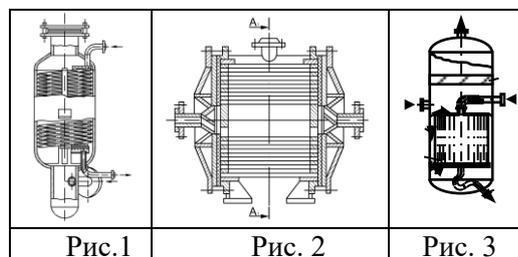
37. На каком из приведенных рисунков изображен оребренный теплообменник ?

- a. Рис. 1;
- b. Рис. 2;
- c. Рис. 2; 3.
- d. На всех трех рисунках.



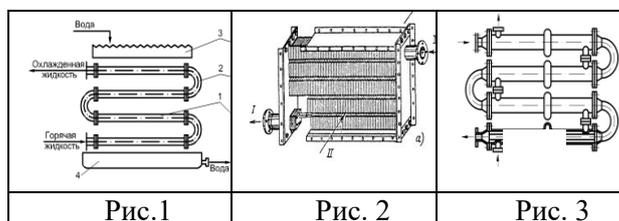
38. На каком из приведенных рисунков изображен вертикальный испаритель ?

- a. Рис. 1;
- b. Рис. 2;
- c. Рис. 3;
- d. На всех трех рисунках.



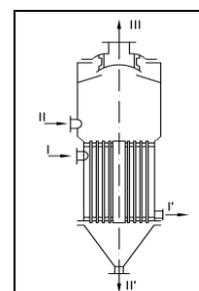
39. На каком из приведенных рисунков изображен оросительный теплообменник ?

- a. Рис. 1;
- b. Рис. 2;
- c. Рис. 2, 3;
- d. На всех трех рисунках.



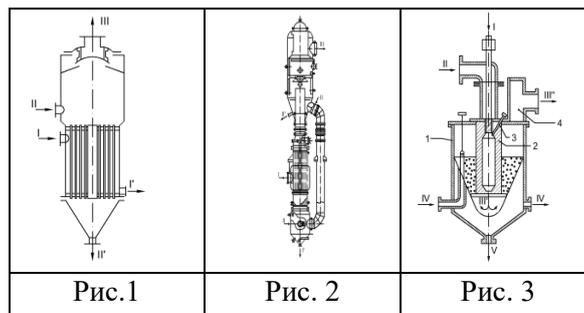
40. Схема какого выпарного аппарата приведена на рисунке?

- a. с центральной циркуляционной трубой;
- b. с вынесенной циркуляционной трубой;
- c. с вынесенной греющей камерой;
- d. нет правильного ответа.



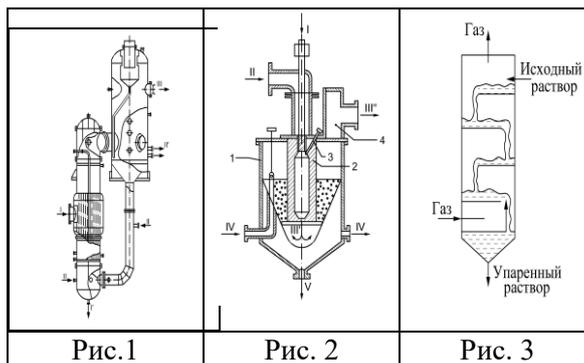
**41. На каком из приведенных рисунков изображен выпарной аппарат с выносной циркуляционной трубой?**

- a. Рис. 1;
- b. Рис. 2;
- c. Рис. 3;
- d. На всех трех рисунках.



**42. На каком из приведенных рисунков изображен контактный выпарной аппарат?**

- a. Рис. 1;
- b. Рис. 2;
- c. Рис. 3;
- d. На всех трех рисунках.



## ТЕСТЫ (часть 2)

**1. Какие процессы протекают при тепловой сушке материала?**

- a. только теплообменные;
- b. только массообменные;
- c. теплообменные и массообменные;
- d. нет правильного ответа.

**2. Что является движущей силой теплообменного процесса при сушке материала?**

- a. разность температур сушильного агента и поверхности материала;
- b. разность температур сушильного агента и влаги в материале;
- c. разность температур поверхности материала и влаги в материале;
- d. разность парциальных давлений водяных паров на поверхности материала и в окружающей среде.

**3. В сушилках какого типа тепло для процесса несет газообразный сушильный агент, непосредственно соприкасающийся с поверхностью материала?**

- a. в терморadiационных сушилках;
- b. в сублимационных сушилках;
- c. в конвективных сушилках;
- d. нет правильного ответа.

**4. Если влагосодержание материала меньше равновесного, то материал будет**

- a. увлажняться;
- b. сохнуть;
- c. не будет ни увлажняться, ни сохнуть;
- d. нет правильного ответа.

**5. Может ли материал увлажняться при максимальном гигроскопическом его влагосодержании?**

- a. может в любом случае;
- b. не может ни при каких условиях;
- c. может только при непосредственном контакте с водой;
- d. нет правильного ответа.

**6. Материал во влажном состоянии**

- a. увлажняется;

- b. сохнет;
- c. не изменяет своего влагосодержания;
- d. нет правильного ответа.

**6. Какое уравнение описывает интенсивность отвода испаряющейся влаги от поверхности испарения?**

- a. 1
- b. 1 и 2
- c. 1 и 3
- d. нет правильного ответа

$$1) \quad g = \frac{\alpha \cdot (t_c - t_m)}{r},$$

$$2) \quad q = \alpha \cdot \left( \frac{r}{t_c - t_m} \right),$$

$$3) \quad g = \beta_p (P_m - P_c)$$

**7. Что в уравнении внутреннего теплообмена в материале**

$q = -\lambda \nabla t + \alpha_m \rho_0 (-i_u \nabla U \pm i_t \delta \nabla t \pm i_p \delta_p \nabla P)$ , **обозначается буквой  $i$  ?**

- a. орт-вектор, характеризующий направление потока массы влаги в материале;
- b. скрытая теплота парообразования влаги при нормальных условиях;
- c. скрытая теплота парообразования влаги при рабочих условиях;
- d. теплота, перемещающаяся в материале с удельным потоком массы.

**8. Что называется кривой сушки?**

- a. графическая зависимость, характеризующая изменение по объему высушиваемого материала средних значений влагосодержания с течением времени;
- b. графическая зависимость, характеризующая изменение по объему высушиваемого материала температуры материала с течением времени;
- c. графическая зависимость, характеризующая изменение по объему высушиваемого материала температуры влаги в материале с течением времени;
- d. графическая зависимость, характеризующая изменение по объему высушиваемого материала скорости сушки с течением времени.

**9. Что понимается под скоростью сушки?**

- a. масса влаги, испаряемой с единицы поверхности материала в единицу времени;
- b. изменение влагосодержания материала в единицу времени;
- c. изменение температуры поверхности материала в единицу времени;
- d. нет правильного ответа.

**10. В периоде постоянной скорости скорость сушки**

- a. равна нулю;
- b. составляет около 25 % от максимальной;
- c. составляет около 50 % от максимальной;
- d. имеет максимальное значение.

**11. В периоде падающей скорости сушки температура материала**

- a. понижается;
- b. постоянна;
- c. растёт;
- d. может понижаться, быть постоянной или расти.

**12. В течение периода падающей скорости сушки скорость внутренней диффузии зависит**

- a. только от температуры материала;
- b. только от структуры материала и его температуры;
- c. только от структуры материала и физико-химических свойств жидкости;
- d. нет правильного ответа.

**13. Материальный баланс процесса сушки по всему материалу, подвергнутому сушке, имеет вид**

- a.  $G_1 = G_2 + W$ ;
- b.  $G_1 + BQ_H^p = G_2 + W$ ;
- c.  $G_1 + BQ_H^p = G_2$ ;
- d.  $G_1 = G_2$ .

14. Расход влажного материала с влажностью 60 %, направляемого на сушку, равен 20 кг/с. Определите количество влаги, удаляемой из материала при сушке в единицу времени, если конечная влажность материала составляет 20 %.

- a. 20 кг/с;
- b. 8 кг/с;
- c. 16 кг/с;
- d. 10 кг/с.

15. Материальный баланс по влаге (по сушильному агенту) имеет вид

- a.  $LX_0 + W = LX_2$ ;
- b.  $LX_0 - W = LX_2$ ;
- c.  $L_0X_0 = L_2X_2$ ;
- d.  $L_0X_0 + BQ_H^p = L_2X_2$ .

16. Определите удельный расход воздуха на сушку, если в ходе процесса его влагосодержание изменяется от 0,1 кг/кг до 0,3 кг/кг.

- a. 0,2 кг/кг;
- b. 0,4 кг/кг;
- c. 2,5 кг/кг;
- d. 5,0 кг/кг.

17. Определите внутренний баланс сушильной камеры по сушильному агенту, если перед сушильной его энтальпия равнялась 3000 кДж/кг, влагосодержание – 0,1 кг/кг, а после сушилки энтальпия равнялась 2940 кДж/кг, влагосодержание – 0,4 кг/кг.

- a. 200 кДж/кг;
- b. 250 кДж/кг;
- c. –20 кДж/кг;
- d. –50 кДж/кг.

18. При построении процесса сушки на *I-x* диаграмме линия действительной сушки без дополнительного подогрева сушильного агента

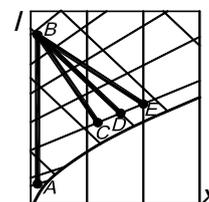
- a. пройдет ниже линии теоретической сушки;
- b. совпадет с линией теоретической сушки;
- c. пройдет выше линии теоретической сушки;
- d. пойдет вертикально вниз.

19. При построении процесса сушки на *I-x* диаграмме линия действительной сушки с дополнительным подогревом сушильного агента

- a. пройдет ниже линии теоретической сушки;
- b. совпадет с линией теоретической сушки;
- c. пройдет выше линии теоретической сушки;
- d. пойдет вертикально вниз.

20. Какая из линий, представленных на рисунке, является линией действительной сушки с дополнительным подогревом сушильного агента?

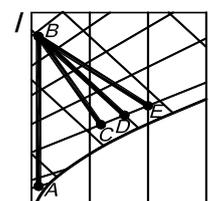
- a. AB
- b. BC
- c. BD
- d. BE



Рисунок

21. Какая из линий, представленных на рисунке, является линией теоретической сушки?

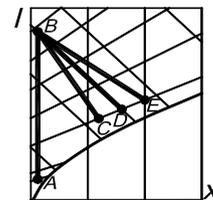
- a. AB
- b. BC
- c. BD
- d. BE



Рисунок

22. Какая из линий, представленных на рисунке, является линией действительной сушки без дополнительного подогрева сушильного агента?

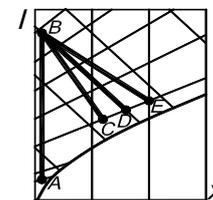
- A AB
- b BC
- c BD
- d BE



Рисунок

23. Какая из линий, представленных на рисунке, характеризует процесс нагрева сушильного агента в калорифере перед сушилкой?

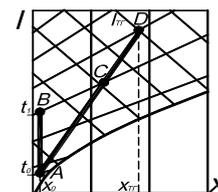
- a AB
- b BC
- c BD
- d. BE



Рисунок

24. Какая точка на рисунке характеризует состояние смеси топочных газов с параметрами  $I_{ТГ}$ ,  $x_{ТГ}$  и воздуха с параметрами  $t_0$ ,  $x_0$  на входе в сушильную камеру?

- a A
- b B
- c C
- d D



Рисунок

25. Сушилки, в которых в качестве сушильного агента используется смесь топочных газов с воздухом, по сравнению с сушилками с паровыми калориферами характеризуются

- a. меньшим расходом топлива, большей металлоемкостью, большей тепловой экономичностью;
- b. большим расходом топлива, большей металлоемкостью, большей тепловой экономичностью;
- c. большим расходом топлива, меньшей металлоемкостью, меньшей тепловой экономичностью;
- d. меньшим расходом топлива, меньшей металлоемкостью, меньшей тепловой экономичностью.

26. Сушку каких изделий можно осуществлять в туннельных сушилках?

- a. только твердых дисперсных изделий;
- b. кусковых и сыпучих материалов;
- c. только штучных изделий;
- d. нет правильного ответа.

27. Сушка каких материалов осуществляется в барабанных сушилках?

- a. сыпучих и штучных материалов;
- b. только штучных материалов;
- c. только сыпучих материалов;
- d. нет правильного ответа.

28. Сушка каких материалов осуществляется в сушилках “кипящего” слоя?

- a. кусковых и сыпучих материалов диаметром до 70 мм;
- b. кусковых и сыпучих материалов диаметром свыше 70 мм до 150 мм;
- c. кусковых и сыпучих материалов диаметром свыше 150 мм;
- d. штучных материалов.

29. Существуют ли способы уменьшения неравномерности сушки по высоте в туннельных сушилках?

- a. в туннельных сушилках не наблюдается неравномерности сушки по высоте;
- b. не существуют;
- c. существуют;
- d. нет правильного ответа.

30. Каким образом организуется движение сушильного агента в камерной сушилке?

- a. сушильный агент подается сверху по центральному каналу и отводится снизу по боковым каналам;
- b. сушильный агент подается снизу по центральному каналу и отводится снизу по боковым каналам;
- c. сушильный агент подается снизу по боковым каналам и отводится сверху по центральному каналу;
- d. сушильный агент подается снизу по боковым каналам и отводится снизу по центральному каналу.

**31. Чем выше коэффициент заполнения барабанной сушилки, тем**

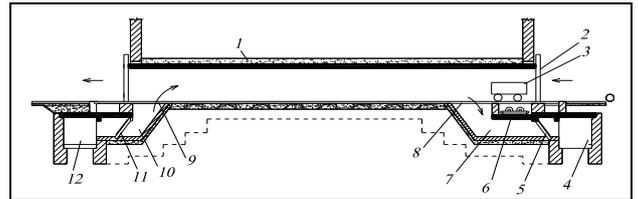
- a. большее количество материала загружено в барабан;
- b. большая поверхность материала участвует в теплообмене с сушильным агентом;
- c. большее количество материала загружено в барабан и большая поверхность материала участвует в теплообмене с сушильным агентом;
- d. нет правильного ответа.

**32. Сушилки «кипящего» слоя по сравнению с барабанными сушилками той же производительности**

- a. более компактны;
- b. сопоставимы по габаритам;
- c. менее компактны;
- d. нет правильного ответа.

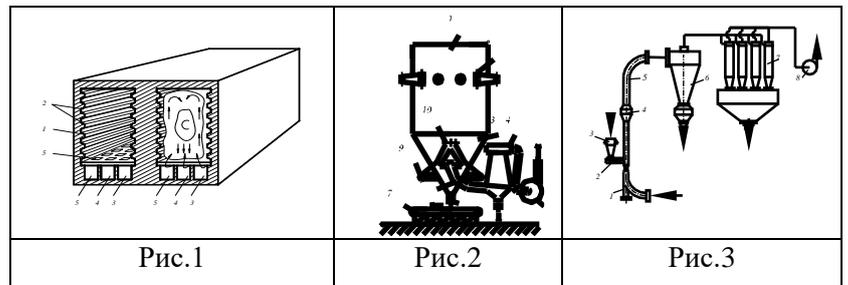
**33. Схема какой сушильной установки приведена на рисунке?**

- a. барабанной;
- b. камерной;
- c. ленточной;
- d. туннельной.



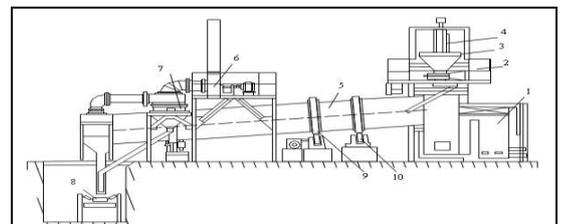
**34. На каком из рисунков приведена схема распылительной сушильной установки?**

- a. Рис.1;
- b. Рис.2;
- c. Рис.3;
- d. нет правильного ответа.



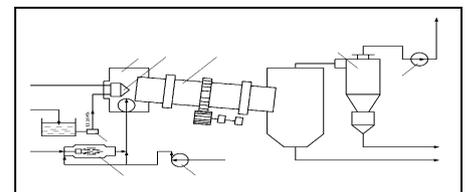
**35. Схема какой сушильной установки приведена на рисунке?**

- a. пневматической;
- b. «кипящего слоя»;
- c. туннельной;
- d. барабанной.



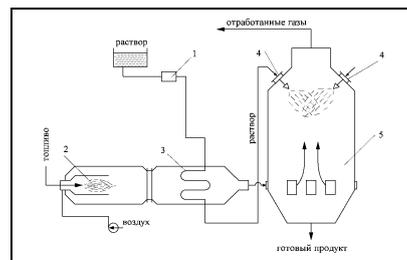
**36. Схема какой сушильной установки приведена на рисунке?**

- a. сушилки термостойких растворов;
- b. распылительной;
- c. барабанной сушилки- гранулятора;
- d. барабанной.



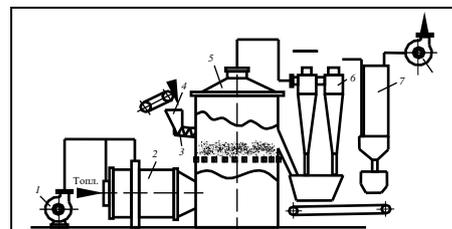
37. Схема какой сушильной установки приведена на рисунке?

- a. распылительной;
- b. сушилки термостойких растворов;
- c. «кипящего» слоя;
- d. барабанной сушилки-гранулятора.



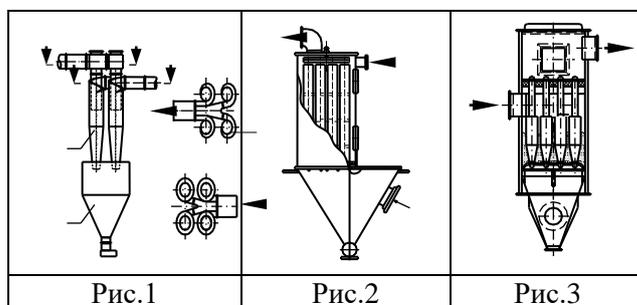
38. Схема какой сушильной установки приведена на рисунке?

- a. «кипящего» слоя;
- b. пневматической;
- c. распылительной;
- d. аэрофонтанной.



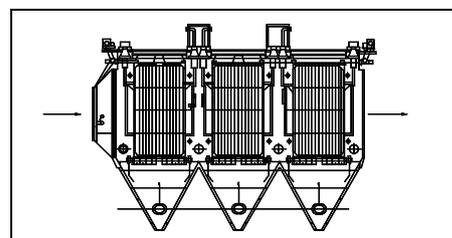
39. На каком рисунке изображен батарейный циклон для обеспыливания газов?

- a. Рис.1;
- b. Рис.2;
- c. Рис.3;
- d. нет правильного ответа.



40. Схема какого аппарата для обеспыливания газов приведена на рисунке?

- a. одиночного циклона;
- b. батарейного циклона;
- c. электрофилтра;
- d. группового циклона.



### Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для защиты курсового проекта

1. Методы обезвоживания материала. Тепловая сушка.
2. Виды сушки и области их применения.
3. Параметры влажных материалов и сушильного агента.
4. Классификация высушиваемых материалов по структуре. Перечислите и охарактеризуйте виды связи влаги с материалом.
5. Конвективная сушка. Классификация и характеристики сушильного агента.
6. Материальный баланс конвективных сушилок.
7. Тепловой баланс конвективных сушилок.
8. Теплотехнологические схемы сушильных установок. Изображение изменения состояния сушильного агента на I – X диаграмме. Основной сушильный вариант, сушка топочными газами.

9. Определение неорганизованных (балластных) присосов воздуха и тепловой экономичности процесса сушки с использованием графического изображения процесса сушки на I-x диаграмме.
10. Тепловая экономичность сушилок. Влияние различных факторов процесса на тепловую экономичность.
11. Принципы энергосберегающей технологии сушки.
12. Распылительные сушилки. Устройство, принцип действия, и эксплуатационные характеристики, преимущества и недостатки.
13. Устройство, принцип действия и эксплуатационные характеристики туннельной сушилки, преимущества и недостатки.
14. Устройство, принцип действия и эксплуатационные характеристики барабанных сушилок, преимущества и недостатки.
15. Опишите устройство различных внутренних насадок барабанных сушилок и целесообразность их применения в каждом конкретном случае.
16. Устройство, принцип действия и эксплуатационные характеристики сушилок «кипящего» слоя и эксплуатационные характеристики сушилок «кипящего» слоя, преимущества и недостатки..
17. Опишите конструкции газораспределительных решеток, преимущества и недостатки каждой конструкции.
18. Устройство, принцип действия и принцип действия сушилок «кипящего» слоя прямоугольного сечения. В каких случаях их целесообразно применять?
19. Опишите устройство и принцип действия пневматических сушилок.
20. Выбор оптимального способа и режима сушки. Критерии оптимальности.

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

#### **Лабораторные занятия**

В методических указаниях к выполнению лабораторных работ по дисциплине представлен перечень лабораторных работ, для каждой работы указана цель, имеются необходимые теоретические сведения (разобраны основные понятия по теме работы и произведено описание лабораторной установки) и методические указания к порядку выполнения и обработке результатов, приведен перечень контрольных вопросов.

Защита лабораторных работ возможна после допуска к выполнению, выполнения (снятия показаний приборов), обработки результатов, оформления отчета, проверки правильности выполнения задания. Защита проводится в форме собеседования преподавателя со студентом по теме лабораторной работы. Примерный перечень контрольных вопросов для защиты лабораторных работ представлен в таблице.

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
1.	Лабораторная работа №1. Изучение процесса теплопередачи в теплообменнике «труба в трубе» (ПК-4.1)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какими условиями определяется стационарный и нестационарный теплообмен?</li> <li>2. В чем отличие поверхностных теплообменников от контактных, рекуперативных от регенеративных?</li> </ol>

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
		<p>3. Основные теплотехнические и эксплуатационные характеристики промышленных теплообменников типа "труба в трубе".</p> <p>4. С какой целью составляется тепловой баланс теплообменника?</p> <p>5. Напишите уравнение теплового баланса для двухпоточного теплообменника, если оба теплоносителя – жидкости.</p> <p>6. Напишите уравнение теплового баланса для двухпоточного теплообменника, если один из теплоносителей жидкость, а другой – насыщенный пар.</p> <p>7. Напишите уравнение теплового баланса для двухпоточного теплообменника, если один из теплоносителей жидкость, а другой – перегретый пар.</p> <p>8. Из какого уравнения определяют площадь поверхности теплообмена при расчете рекуперативного теплообменника.</p> <p>9. Физический смысл коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи.</p> <p>10. Методика расчета коэффициента теплоотдачи при стационарном теплообмене.</p> <p>11. Какие критериальные уравнения используются при определении коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции ?</p> <p>12. Какие критериальные уравнения используются при определении коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции ?</p> <p>13. Влияет ли изменение направления одного из теплоносителей на величину среднего температурного напора?</p> <p>14. В каком случае при расчете рекуперативного теплообменника вместо среднелогарифмической разности температур можно воспользоваться среднеарифметической?</p> <p>15. Как определить термическое сопротивление незагрязненной поверхности теплообмена?</p> <p>16. Способы интенсификации теплопередачи.</p>
2.	Лабораторная работа №2. Изучение процесса выпаривания в однокорпусной выпарной установке (ПК-4.1)	<p>1. Какой технологический процесс называют выпариванием?</p> <p>2. Что является движущей силой процесса выпаривания?</p> <p>3. Какими способами осуществляется процесс выпаривания?</p> <p>4. Перечислить конструкции выпарных аппаратов.</p> <p>5. Для чего необходим сепаратор в поверхностных выпарных аппаратах?</p> <p>6. Каким уравнением описывается процесс выпаривания в аппарате непрерывного действия?</p> <p>7. Напишите уравнение материального баланса выпарного аппарата непрерывного действия.</p> <p>8. Напишите уравнение теплового баланса выпарного аппарата непрерывного действия.</p> <p>9. Как повысить тепловую экономичность выпарной установки?</p> <p>10. Как подсчитать тепловую нагрузку однокорпусного выпарного аппарата?</p> <p>11. Как определить температуру кипения раствора?</p> <p>12. Что такое температурная депрессия, от каких факторов зависит ее величина?</p> <p>13. Чем обусловлена гидростатическая депрессия?</p> <p>14. Как рассчитать гидростатическую депрессию?</p> <p>15. Чем обусловлена гидравлическая депрессия?</p>
3.	Лабораторная работа №3. Исследование процесса сушки строительных материалов (ПК-4.1)	<p>1. Какой технологический процесс называется сушкой?</p> <p>2. Что такое потенциал сушки?</p> <p>3. К каким процессам относится сушка?</p> <p>4. Виды сушки.</p> <p>5. Что такое относительная влажность материала и воздуха?</p> <p>6. Дать определение влагосодержания материала и воздуха.</p>

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
		<p>7. Что такое критическое и равновесное влагосодержание?</p> <p>8. Что называют скоростью сушки?</p> <p>9. При каких условиях скорость сушки в первом периоде постоянна и от каких факторов она зависит?</p> <p>10. Чем определяется скорость сушки во втором периоде?</p> <p>11. Как изменяется температура материала в процессе конвективной сушки?</p> <p>12. Как влияет скорость воздуха на скорость сушки в I и II периоде?</p> <p>13. Практическое применение изотермы сорбции сушки.</p> <p>14. По каким уравнениям можно рассчитать количество испаренной влаги?</p> <p>15. Как можно рассчитать движущую силу процесса сушки?</p>
4.	<p>Лабораторная работа №4. Изучение влияния температуры сушильного агента на входе в сушилку «кипящего слоя» на ее тепловую экономичность (ПК-4.1)</p>	<p>1. В чем преимущества и недостатки сушилки "кипящего слоя" перед другими сушилками твердого зернистого материала?</p> <p>2. Чем объясняется повышенное энергопотребление в сушилках "кипящего слоя".</p> <p>3. Какая теплотехнологическая схема сушки называется основным сушильным вариантом?</p> <p>4. В чем отличие действительной сушилки от теоретической? Изобразите процессы в этих сушилках на <i>I-x</i> диаграмме.</p> <p>5. Что служит показателем тепловой экономичности процесса сушки?</p> <p>6. Какие параметры сушильного агента влияют на тепловую экономичность сушки по основному сушильному варианту?</p> <p>7. Что называется удельным расходом воздуха на сушку?</p> <p>8. Как влияет температура сушильного агента на входе в сушилку на удельный расход воздуха?</p> <p>9. Как влияет температура сушильного агента на входе в сушилку тепловую экономичность сушилки?</p> <p>Как влияет температура сушильного агента на выходе из сушилки на тепловую экономичность сушилки?</p> <p>10. Что характеризует и в каком расчете используется величина удельной объемной производительности сушилки по влаге?</p> <p>10. Какой формы сушилку "кипящего слоя" целесообразно применять при сушке полидисперсного материала и почему?</p> <p>11. Каков физический смысл понятия КПД сушильной установки и как его можно вычислить для теоретической сушилки?</p>
5	<p>Лабораторная работа №5. Определение тепловых потерь при обработке бетона в лабораторной пропарочной камере в период прогрева</p>	<p>1. Какой процесс называют термовлажностной обработкой и для каких целей он используется?</p> <p>2. Какие теплоносители используются при термовлажностной обработке, и на чем основан их выбор?</p> <p>3. Назвать и охарактеризовать стадии термовлажностной обработки.</p> <p>4. Какие конструктивные и деструктивные процессы при термовлажностной обработке бетона.</p> <p>5. От чего зависит выбор режимных параметров при термовлажностной обработке.</p> <p>6. Методика составления теплового баланса пропарочной камеры.</p> <p>7. С какой целью составляют тепловой баланс установок термовлажностной обработки?</p> <p>8. Как влияют на экзотермию бетона марка цемента и водоцементное отношение?</p> <p>9. Как рассчитать расход пара и диаметр паропровода в промышленной пропарочной камере?</p> <p>10. По какому показателю можно сравнивать работу установок термовлажностной обработки бетона?</p> <p>11. В чем заключаются конструктивные особенности ямных пропарочных камер?</p> <p>12. Как можно повысить тепловую экономичность ямных пропарочных камер?</p>

## Практические занятия

На практических занятиях производится разбор методик расчета термовлажностных и низкотемпературных телотехнологических процессов и установок, а также решение разноуровневых задач.

### *Типовые разноуровневые задачи и задания*

#### Индикатор ПК-4.1

##### **Задача**

Горячий концентрированный раствор, выходящий из выпарного аппарата с температурой  $106^{\circ}\text{C}$ , используется для подогрева до  $50^{\circ}\text{C}$  холодного разбавленного раствора, поступающего на выпарку с температурой  $15^{\circ}\text{C}$ . Концентрированный раствор охлаждается до  $60^{\circ}\text{C}$ . Определить среднюю разность температур для прямоточной и противоточной схем.

##### **Задача**

В многоходовом кожухотрубчатом теплообменнике, имеющий четыре хода в трубном пространстве и один в межтрубном, толуол охлаждается водой от  $106$  до  $30^{\circ}\text{C}$ . Вода, проходящая по трубам, нагревается от  $10$  до  $34^{\circ}\text{C}$ . Определить среднюю разность температур в теплообменнике.

##### **Задача**

Во сколько раз увеличится термическое сопротивление стенки стального заеэвика, свернутого из трубы диаметром  $38 \times 2,5$  мм, если покрыть его слоем эмали толщиной  $0,5$  мм? Считать стенку плоской. Коэффициент теплопроводности  $1,05$  Вт/(м·К).

##### **Задача**

$3700$  кг/ч метилового спирта подогревается от  $10$  до  $50^{\circ}\text{C}$ , проходя по трубному пространству теплообменника, состоящего из  $19$  труб диаметром  $16 \times 2$  мм. Определить коэффициент теплоотдачи, если принять температуру стенки  $60^{\circ}\text{C}$ .

##### **Задача**

Вода нагревается в условиях свободного движения. Наружный диаметр горизонтальных труб  $76$  мм. Определить коэффициент теплоотдачи, если температуру поверхности трубы принять равной  $45^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура воды  $25^{\circ}\text{C}$ .

##### **Задача**

Аппарат изолирован слоем шамотного кирпича толщиной  $125$  мм [ $\lambda = 0,68$  Вт/(м·К)] и слоем изоляционной массы [ $\lambda = 0,12$  Вт/(м·К)]. Температура наружной поверхности металлической стенки аппарата  $500^{\circ}\text{C}$ . Найти достаточную толщину изоляционного слоя, чтобы температура его наружной поверхности не превышала  $50^{\circ}\text{C}$  при температуре воздуха в цехе  $25^{\circ}\text{C}$ .

##### **Задача**

Определить коэффициент теплопередачи в спиральном теплообменнике по следующим данным: поверхность теплообмена  $48$  м<sup>2</sup>; в аппарате подогревается  $85,5$  т/ч воды от  $77$  до  $95^{\circ}\text{C}$ ; нагревание производится насыщенным водяным паром при  $p_{\text{изб}} = 23$  кПа.

##### **Задача**

Определить необходимую поверхность противоточного теплообменника при охлаждении  $0,85$  м<sup>3</sup>/ч сероуглерода от температуры кипения под атмосферным дав-

лением до 22 °С. Охлаждающая вода нагревается от 14 до 25 °С; коэффициент теплоотдачи сероуглерода 270 Вт/(м·К); коэффициент теплоотдачи воды 720 Вт/м<sup>2</sup>·К. Толщина стальной стенки 3мм. Учесть наличие загрязнений – ржавчины и накипи, приняв  $\Sigma\Gamma_{\text{загр}} = 0,00069 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}$ . Определить также расход воды.

### Задача

На складе оборудования имеется кожухотрубчатый теплообменник, состоящий из 19 латунных труб диаметром 18 x 2 мм, длиной 1,2 м. Достаточно ли его поверхность для конденсации 350 кг/ч насыщенного пара этилового спирта, если принять коэффициент теплопередачи равным 700 Вт/м<sup>2</sup>·К, начальную температуру воды 15 °С, а конечную 35 °С. Конденсация спирта предполагается при атмосферном давлении, жидкий спирт отводится при температуре конденсации.

---

### Задача

В выпарной аппарат поступает 1,4 т/ч 9% раствора, который упаривается под атмосферным давлением до конечной концентрации 32% (масс.). Разбавленный раствор поступает на выпарку с температурой 18 °С. Упаренный раствор выводится из аппарата при 105 °С. Удельная теплоемкость разбавленного раствора 3,8 кДж/(кг·К). Расход греющего насыщенного водяного пара с избыточным давлением  $p_{\text{изб}} = 2 \text{ кгс}/\text{см}^2$  составляет 1450 кг/ч. Влажность греющего пара 4,5%. Определить потерю теплоты в окружающей среде.

### Задача

2200 кг/ч разбавленного водяного раствора упаривается от 7 до 24 % (масс.) под атмосферным давлением. Разбавленный раствор подается в выпарной аппарат при 19 °С. Температурная депрессия 3,5 К, гидростатическая 3,0 К, гидравлическая 1,0 К. Избыточное давление греющего насыщенного водяного пара  $p_{\text{изб}} = 2 \text{ кгс}/\text{см}^2$ . Коэффициент теплопередачи 1100 Вт/ м<sup>2</sup>·К. Определить требуемую поверхность теплообмена в аппарате и расход греющего пара, принимая потери теплоты в окружающую среду в размере 5% от суммы ( $Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{исп}}$ ) и влажность греющего пара 5%

### Задача

Определить требуемую поверхность и расход воды в дефлегматоре ректификационной колонны для разделения бензольно-толуольной смеси при следующих условиях; количество верхнего продукта 600 кг/ч; число флегмы 3,75; начальная и конечная температуры охлаждающей воды 20 и 45°С; коэффициент теплопередачи 700 Вт/ м<sup>2</sup>·К. Считать верхний продукт за чистый бензол. Давление в колонне атмосферное.

### Задача

Какое количество влаги удаляется из материала в сушилке, если воздух поступает в сушилку в количестве 200 кг/ч (считая абсолютно сухой воздух) с  $t_1=95 \text{ °С}$ ,  $\varphi_1 = 5\%$ , а уходит из сушилки с  $t_2=50 \text{ °С}$ ,  $\varphi_2 = 60\%$ ? Определить так же удельный расход воздуха.

### Задача

В теоретической сушилке из высушиваемого материала удаляется 100 кг/ч влаги при следующих условиях:  $t_0 = 15 \text{ °С}$ ,  $\varphi_0 = 0,8\%$ ,  $t_2 = 45 \text{ °С}$ ,  $\varphi_2 = 0,6\%$ ,  $P = 750 \text{ мм рт.ст.}$  Определить расход воздуха

### Задача

Определить КПД теоретической сушки, если состояние воздуха в ней меняется от  $\varphi_0 = 0,7\%$  и  $t_0=20\text{ }^\circ\text{C}$  до  $\varphi_2 = 0,6\%$   $t_2=50\text{ }^\circ\text{C}$ . Влага испаряется при температуре мокрого термометра.

### Задача

Найти средний потенциал сушки в теоретической сушилке при  $t_0=20\text{ }^\circ\text{C}$  ,  $\varphi_0 = 0,7\%$ ,  $t_2=50\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_2 = 0,4\%$ . Испарение идет при температуре мокрого термометра.

### Задача

Влажный материал с начальной влажностью 33%, критической 17% и равновесной 2%, высушивается при постоянных условиях сушки до 9% влажности в течение 8ч. Определить продолжительность сушки до 3% влажности в тех же условиях. Влажность дана в процентах от массы абсолютно сухого вещества.

## 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

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

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
ПК-4. Способен разрабатывать схемы размещения объектов профессиональной деятельности в соответствии с технологией производства ПК-4.1. Анализирует функции, а также параметры и характеристики рабочих процессов объектов профессиональной деятельности и определяет их место и назначение в технологической схеме производства продукции	
Знания	Знание терминов, определений, понятий
	Знание основных закономерностей, соотношений, принципов
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
Умения	Полнота выполненного задания
	Качество выполненного задания
	Самостоятельность выполнения задания
	Умение сравнивать, сопоставлять и обобщать, и делать выводы
	Качество оформления задания
	Правильность применения теоретического материала
Навыки	Выбор методики выполнения задания
	Анализ результатов решения задач
	Обоснование полученных результатов

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

### Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	Не знает терминов и определений	Знает термины и определения, но допускает неточности формулировок	Знает термины и определения	Знает термины и определения, может корректно сформулировать их самостоятельно
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	Не знает основных закономерностей, соотношений, принципов организации работы теплотехнологических схем с термовлажностными и низкотемпературными установками	Знает основные закономерности, соотношения, принципы теплотехнологических схем с термовлажностными и низкотемпературными установками	Знает основные закономерности, соотношения, принципы организации теплотехнологических с термовлажностными и низкотемпературными установками, их интерпретирует и использует	Знает основные закономерности, соотношения, принципы организации теплотехнологических схем с термовлажностными и низкотемпературными установками и может самостоятельно их объяснить 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 большинство вопросов	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 полностью усвоенных знаний
	Не излагает или 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
Полнота выполненного задания	Задание не выполнено	Задание выполнено не в полном объеме	Задание выполнено полностью	Задание выполнено полностью, рациональным способом
Качество выполненного задания	Имеются существенные ошибки при использовании общей мето-	Задание выполнено с существенными неточностями, не нося-	Задание выполнено с небольшими неточностями	Задание выполнено без ошибок. Грамотно использует математический аппарат и основ-

	дики выполнения задания	щими принципиальный характер		ные методики расчета высокотемпературных процессов и установок.
Самостоятельность выполнения задания	Не может выполнить задание, в том числе и с дополнительной помощью	Может выполнить задание только с дополнительной помощью	Выполняет задание в основном самостоятельно	Самостоятельно выполняет задание
Умение сравнивать, сопоставлять и обобщать и делать выводы	Не умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать выводы	Допускает ошибки при сопоставлении, обобщении и при формулировании выводов	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, но допускает небольшие неточности при формулировании выводов	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делает верные выводы
Качество оформления задания	Задание оформлено настолько неряшливо, что не поддается проверке	Задание оформлено неаккуратно, отсутствуют необходимые пояснения и ссылки на используемые источники	Задание оформлено аккуратно, с ссылками на используемые источники	Задание оформлено аккуратно, с необходимыми пояснениями и ссылками на используемые источники
Правильность применения теоретического материала	При применении теоретического материала допущены ошибки, относящиеся к методике выполнения задания	При применении теоретического материала допущены ошибки, не носящие принципиальный характер	Теоретический материал применен и интерпретирован в целом правильно, но с несущественными неточностями	Теоретический материал применен и интерпретирован правильно

### Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Выбор методики выполнения задания	Неверно выбрана методика выполнения задания	Методика выполнения задания выбрана в целом верно, но имеются незначительные неточности при описании основных расчетных зависимостей	Методика выполнения задания выбрана в целом верно, но имеются недочеты, не относящиеся к основным расчетным зависимостям	Выбрана верная или наиболее рациональная методика выполнения задания
Анализ результатов решения задач	Не произведен анализ результатов решения задачи при необходимости такого анализа	Анализ результатов, полученных при решении задачи проводится только при помощи преподавателя	Допускаются незначительные неточности в ходе анализа результатов решения задачи	Произведен анализ результатов решения задачи и сделаны исчерпывающие выводы

## 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	Учебная аудитория для проведения лекционных, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных кон-	Специализированная мебель; информационные стенды; лабораторные установки: теплообменник «труба в трубе», выпарная

	сультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, самостоятельной работы	установка, камерная сушилка, сушилка «кипящего» слоя, пропарочная камера
2.	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 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. Губарева, В. В. Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и установки [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. В. Губарева, А. В. Губарев. - Белгород : Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – 256с. – 1.
2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. / А. .Г Касаткин. – 10-е изд., стереотип. дораб. – М.: Альянс, 2004. – 752с.
3. Губарева В.В. Расчет и проектирование конвективных сушильных установок. Учебное пособие./В.В. Губарева – Белгород, БГТУ им. В.Г.Шухова, 2014.– 118с.; - <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2015013012263185900000652122>.
4. Губарева В.В. Проектирование трубчатых рекуперативных теплообменных аппаратов. Учебное пособие./В.В. Губарева – Белгород, БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014.– 61 с.; - <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2015013012404399000000655473>.
5. Романков П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / П. Г. Романков – Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2010. - 544 с. – <http://www.iprbookshop.ru/22539>. - ISBN 978-5-93808-182-6 : Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
6. Губарева В.В. Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и установки. [Электронный ресурс] / В.В. Губарева – Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления бакалавриата 13.01.03 – Теплоэнергетика и теплотехника профиля подготовки "Энергетика теплотехнологии"– Белгород, БГТУ им. В.Г.Шухова, 2016. – 42с. – <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2016101813431808100000659984>.
7. Губарева В.В. Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и установки. Ч.1. Учебное пособие. / В.В. Губарева, В.П. Кожевников, М.С. Шиманская. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с.
8. Жуков А. Д. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Д. Жуков – Москва : Московский государственный строительный универ-

ситет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014. – 252 с. – <http://www.iprbookshop.ru/27038>. - ISBN 978-5-7264-0897-2 : Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

9. Фролов, В. Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Ф. Фролов – Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2008. – 608 с. – <http://www.iprbookshop.ru/22537>. – Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

10. Пузиков Н.Т., Болдин С.В. Расчёт режима сушки керамических изделий продуктами сгорания природного газа [Электронный ресурс] – Методические указания/ Н.Т. Пузиков, С.В. Болдин – Нижний Новгород: Нижегородский гос. архитектурно-строительный университет, 2014, – <http://www.iprbookshop.ru/54965>. – ЭБС «IPRbooks».

11. Шалай В.В. и др. Расчет тепловых процессов и установок в примерах и задачах [Электронный ресурс] – Практикум – Омск: Омский государственный технический университет, 2015 : <http://www.iprbookshop.ru/58098>. – ЭБС «IPRbooks».

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

1. Цифровой образовательный ресурс IPR SMART. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Лань. Электронно-библиотечная система. Режим доступа: <https://e.lanbook.com>