

**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 магистратуры

  
И.В. Ярмоленко  
« 20 » 05 2021г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор института  
энергетики, информационных  
технологий и управляющих систем

  
А.В. Белоусов  
« 20 » 05 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)

**Энергоэффективные теплотехнологические  
процессы и установки**

Направление подготовки (специальность):

**13.04.01 – ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Направленность программы (профиль, специализация):

**Энергетика теплотехнологии**

Квалификация  
**магистр**

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 – магистратура по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утв. приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 146;
- учебного плана, утвержденного Ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составитель: канд. техн. наук, доц.  (Т.И. Тихомирова)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики теплотехнологии «22» 04 2021 г., протокол № 8.

Заведующий кафедрой

Энергетики теплотехнологии

канд. техн. наук, доцент

 (Ю.В. Васильченко)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики, информационных технологий и управляющих систем «20» 05 2021 г., протокол № 9.

Председатель

канд. техн. наук, доцент

 (А.Н. Семернин)

## 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
<b>Профессиональные компетенции</b>			
Проектно-конструкторские задачи профессиональной деятельности	<b>ПК-2.</b> Способен разрабатывать проектные решения для тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов	<b>ПК-2.2.</b> Разрабатывает проектные решения для повышения энергетической эффективности теплотехнологических процессов и установок.	Показатели оценивания результата обучения по дисциплине: <b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные методы повышения энергоэффективности теплотехнологических процессов и установок;</li> </ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводить оценку энергетической эффективности теплотехнологических процессов и установок;</li> <li>• разрабатывать проектные решения для повышения энергетической эффективности;</li> </ul> <b>Владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• существующими техническими методами повышения энергоэффективности;</li> <li>• методами научного поиска методов и методик повышения энергоэффективности.</li> </ul>

### 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

**Компетенция ПК-2.** Способен к разработке проектных решений для тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами, практиками:

Стадия	Наименования дисциплины
1	Тепловые расчеты теплотехнологических установок
2	Энергоэффективные теплотехнологические процессы и установки
3	Комбинированные энерготехнологические установки
4	Производственная преддипломная практика
5	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

## 2. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки 7 зач. единиц.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины, час	252	252
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	90	90
лекции	34	34
лабораторные	34	34
практические	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	5	5
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, 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 2 Семестр № 3.

№ п/п	Наименование раздела (модуля)	Объем на тематический раздел, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	2	3	4	5	6
<b>1. Энергетическая эффективность теплотехнологических установок</b>					
	<p>Применение теплоэнергетических балансов для анализа возможностей повышения энергетической эффективности. Снижения тепловых потерь и технико-экономической оптимизации теплотехнологических установок. Совершенствование аэродинамических и теплообменных процессов работы как необходимое условие достижения энергетической эффективности теплотехнологических установок. Интенсификация теплообмена при псевдооживлении и закрученных циклонных потоках. Энергоэффективные теплотехнологические установки для сушки и обжига сырьевых материалов и горения в кипящем слое. Энергетическая эффективность современных систем производства цементного клинкера, керамзитового гравия, стекломассы. Роль математического моделирования в энерготехнологическом совершенствовании процессов аэродинамики, горения топлива и теплообмена.</p>	4	2		6
<b>2. Аэродинамические основы энергоэффективных технологических процессов</b>					
	<p>Аэродинамика сплошного потока в двухфазных системах. Условия псевдооживления. Взаимодействие сплошной и дискретной фаз. Фонтанирование, циркулирующий слой и пневмотранспорт зернистого материала.</p> <p>Аэродинамика закрученных потоков. Взаимодействие сплошной и дисперсной фаз в закрученном потоке. Аэродинамические условия организации эффективного циклонного теплотехнологического процесса.</p>	4	2	4	8
<b>3. Теплообменные процессы энергоэффективных технологических процессов</b>					
	<p>Теплообменные процессы в объеме кипящего слоя и в закрученных потоках газов. Теплообмен между газом и частицами зернистого материала. Зависимость интенсивности теплообмена от аэродинамических условий обтекания частиц материала потоком газа. Теплоотдача от кипящего зернистого слоя к погруженному в него телу. Интенсивность теплообмена закрученного</p>	6	3	6	12

	потока газов с ограждающими поверхностями технологического циклона.				
<b>4. Тепловая обработка технологического сырья в кипящем слое и циклонных реакторах</b>					
	Примеры промышленного применения устройств с кипящим слоем и циклонных камер для интенсификации тепловой обработки технологических материалов. Охлаждение цементного клинкера при остром дутье в колосниковых холодильниках; декарбонизация сырьевой смеси в кальцинаторах с кипящим слоем; Нагрев сырьевой смеси в производстве цементного клинкера; декарбонизация сырьевой смеси в циклонных кальцинаторах. Обесфторивание фосфатов в плавильных циклонах; возгонка цветных металлов. Обжиг серного колчедана в кипящем слое при производстве серной кислоты. Циклонные ВТУ.	4	2	8	12
<b>5. Сушка и обезвоживание растворов в кипящем слое и циклонах реакторах</b>					
	Тепловой баланс сушильных установок. Основы теории тепломассопереноса в процессах сушки. Кинетика сушки и нагрева влажного зернистого материала. Преимущества сушки в кипящем и фонтанирующем слое. Конструктивные схемы установок с кипящим слоем и аэрофонтанных сушилок. возможности сушки зернистых материалов в циклонных камерах. Комбинированные виды сушилок.	4	2		6
<b>6. Горение топлива в циркуляционном и кипящем слое</b>					
	Горение при подаче в кипящий слой газообразного топлива и окислителя. Горение твердых топлив в кипящем зернистом слое. Экологические преимущества сжигания низкосортных топлив в кипящем слое с циркулирующей насадкой. Горение природного газа в закрученных потоках. Интенсификация горения мазута и твердых топлив в циклонных камерах. Циклонные предтопки с жидким шлакоудалением. Экологические преимущества и недостатки циклонных топок.	4	2	4	8
<b>7. Теплофикация на современном этапе и основные пути повышения ее системной эффективности</b>					
	Проблемы теплофикации и основные пути повышения ее системной эффективности. Совершенствование теплофикационных паровых турбин с отопительными отборами пара. Ступенчатый подогрев сетевой воды. Выбор оптимальных параметров отопительных отборов. Выбор оптимальных поверхностей нагрева сетевых подогревателей турбин. Высокоэффективные теплофикационные паровые турбины со ступенчатым подогревом сетевой воды. Повышение эффективности использования действующих паротурбинных установок тепловых электростанций. Использование турбин конденсационных электростанций для теплоснабжения. Эффективность	4	2	8	12

	использования КЭС для теплоснабжения. Развитие теплоснабжения на базе малой теплофикации. Установка теплофикационных турбин в котельных. Техничко-экономическая эффективность малой теплофикации. Обоснование оптимального состава оборудования теплофикационных ПГУ.				
<b>8. Повышение эффективности, надежности и экономичности систем транспорта теплоты</b>					
	Теоретические исследования и разработки. Выбор оптимальной толщины тепловой изоляции теплопроводов. Техническое перевооружение тепловых сетей на основе промышленных теплогидропредызолированных теплопроводов. Технические аспекты и решения проблемы. Методика технико-экономического сравнения вариантов прокладки теплопроводов. Экспериментальные исследования. Экспресс-метод испытания тепловых сетей на тепловые потери. Создание самокомпенсирующихся трубопроводов теплосети. Снижение затрат энергии на транспорт теплоносителя. Выбор оптимального проектного и эксплуатационного температурного графика системы теплоснабжения. Критерии обоснования температурного графика. Определение составляющих издержек, зависящих от температурного графика.	4	2	4	8
	<b>ВСЕГО:</b>	34	17	34	72

### Курс 2 Семестр № 3.

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
<b>семестр №3</b>				
1	Энергетическая эффективность теплотехнологических установок	Тепловые балансы энергоэффективных теплотехнических установок	2	2
2	Аэродинамические основы энергоэффективных теплотехнологических процессов	Аэродинамические основы псевдоожижения Аэродинамические основы циклонного теплотехнологического процесса	2	2
3	Теплообменные процессы в кипящем слое и в циклонных реакторах	Теплообменные процессы в кипящем зернистом слое	3	3
4	Тепловая обработка технологического сырья в кипящем слое и циклонных реакторах	Материальный и тепловой баланс обжига серного колчедана в печи кипящего слоя в теплотехнологической схеме производства серной кислоты	2	2
5	Сушка и обезвоживание растворов в кипящем слое и циклонах реакторах	Тепловая обработка технологического сырья в циклонных реакторах	2	2

6	Горение топлива в циркулирующем кипящем слое и в циклонных реакторах	Процессы горения топлива в кипящем циркулирующем слое и в циклонных реакторах	2	2
7	Теплофикация на современном этапе и основные пути повышения ее системной эффективности	Анализ циклов и технические решения по использованию конденсационных турбин в качестве теплофикационных.	2	2
8	Повышение эффективности, надежности и экономичности систем транспорта теплоты	Выбор проектного и эксплуатационного температурного графика теплоснабжения.	2	2
ИТОГО:			17	17
ВСЕГО			34	34

### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр №3				
1	Аэродинамические основы энергоэффективных теплотехнологических процессов	Аэродинамика кипящего слоя Аэродинамика циклонной камеры	4	4
2	Теплообменные процессы в кипящем слое и в циклонных реакторах	Методы сжигания топлив. Определение эффективности сжигания топлива в циклонных реакторах.	6	6
3	Тепловая обработка технологического сырья в кипящем слое и циклонных реакторах	Сравнительный анализ и определение эффективности процесса тепловой обработки технологического сырья в различных теплотехнологических установках.	8	8
4	Горение топлива в циркулирующем кипящем слое и в циклонных реакторах	Горение топлива в циклонных реакторах.	4	4
5	Теплофикация на современном этапе и основные пути повышения ее системной эффективности	Определение энергетической эффективности паротурбинной «подстройки» ПГУ.	8	8
6	Повышение эффективности, надежности и экономичности систем транспорта теплоты	Экспресс-метод испытания тепловых сетей на тепловые потери.	4	4
ИТОГО:			34	34
ВСЕГО			68	68

#### 4.4. Содержание курсового проекта

Учебным планом предусмотрено выполнение курсового проекта.

Тематика курсового проекта:

1. Установка для сушки материала в кипящем слое.
2. Печь кипящего слоя для обжига серного колчедана.
3. Циклонный декарбонизатор в производстве цемента.

Курсовой проект имеет своей целью приобретение студентами умения разрабатывать проекты современных энергоэффективных теплотехнологических установок, проводить оценку энергетической эффективности теплотехнологических процессов и установок, выполнять необходимые теплотехнические расчеты, разрабатывать проектные решения для повышения энергетической эффективности, применяя для этого существующие технические методы повышения энергоэффективности.

Содержание курсового проекта – аэродинамические и тепловые расчеты, конструктивные разработки теплотехнологического реактора с представлением расчетных результатов, объем работы до 40 с.

Расчетно-пояснительная записка (РПЗ) оформляется на листах формата А4 (с одной стороны листа). Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- сведения о студенте, выполняющем работу: фамилия, инициалы, группа;
- задание, подписанное студентом и преподавателем;
- аэрофонтанные печи для производства колчедана;
- гидродинамика псевдоожигенного слоя с определением основных характеристик псевдоожигения. Циркуляционный кипящий слой;
- материальный расчет печи с кипящим слоем для обжига серного колчедана;
- конструктивный расчет печи с кипящим слоем для обжига серного колчедана;
- расчет паропроизводительности котла-утилизатора по заданным параметрам – выводы и заключение.

В записке даются указания, обоснования и соответствующие пояснения по выбираемым величинам, помещаются сводные таблицы данных расчета.

Графическая часть представляет собой один лист формата А1, с представлением разработанной конструкции печи для обжига серного колчедана, с указанием основных геометрических размеров теплотехнологической установки.

#### Типовое задание

1. Выполнить материальный расчет обжига серного колчедана. Определить расход и состав газообразного продукта сгорания серного колчедана  $FeS_2$  и количество огарка.
2. Произвести конструктивный расчет печи кипящего слоя для обжига серного колчедана. Определить расчет высоты кипящего слоя.

Исходные данные:

- производительность печи по серному колчедану  $V_{пир} = 31 \text{ т/ч}$ ;
- размер частиц флотационного колчедана  $d = 54 \text{ мкм}$ ;
- порозность кипящего слоя  $\varepsilon = 0,75$

3. Рассчитать паропроизводительность котла - утилизатора по уравнению теплового баланса при давлении  $P = 4 \text{ МПа}$ , температура перегретого пара  $t_{\text{шт}} = 440 \text{ }^\circ\text{C}$ , при температурах газов на входе в котел  $t'_r = 960 \text{ }^\circ\text{C}$ , на выходе из котла  $t''_r = 405 \text{ }^\circ\text{C}$  и при тепловом КПД котла  $\eta_{\text{кв}} = 0,95$ .

В пояснительной записке необходимо разрабатывать проектные решения для повышения энергетической эффективности печи обжига серного колчедана. Обосновать методику конструктивного расчета печи обжига серного колчедана. Провести оценку энергетической эффективности теплотехнологического процесса обжига серного колчедана и установки для ведения этого процесса.

В процессе выполнения курсового проекта осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудитории университета.

#### **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**

**Компетенция ПК-2.** Способен к разработке проектных решений для тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
<b>ПК-2.2.</b> Разрабатывает проектные решения для повышения энергетической эффективности теплотехнологических процессов и установок.	Экзамен, защита курсового проекта, защита лабораторных работ, решение задач на практических занятиях.

#### **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	Энергетическая эффективность теплотехнологических установок	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Уравнение теплового баланса для оценки энергетической эффективности теплотехнологической установки.</li> <li>- Эмпирический метод определения наиболее экономичного режима тепловой работы промышленной печи.</li> <li>- Роль математического моделирования в энерготехнологическом совершенствовании теплотехнологических процессов.</li> <li>- Применение теплоэнергетических балансов для анализа возможностей повышения энергетической эффективности.</li> <li>- Снижения тепловых потерь теплотехнологических установок.</li> <li>- Совершенствование аэродинамических и теплообменных процессов работы как необходимое условие достижения энергетической эффективности теплотехнологических установок.</li> <li>- Интенсификация тепломассообмена при псевдооживлении и закрученных циклонных потоках.</li> <li>- Энергоэффективные теплотехнологические установки для сушки .</li> <li>- Энергоэффективные теплотехнологические установки для обжига сырьевых материалов.</li> <li>- Энергоэффективные теплотехнологические установки для горения топлива.</li> <li>- Энергетическая эффективность современных систем производства цементного клинкера, стекломассы.</li> </ul>
2	Аэродинамические основы энергоэффективных теплотехнологических процессов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Аэродинамика сплошного потока в двухфазных системах.</li> <li>- Условия псевдооживления. Взаимодействие сплошной и дискретной фаз.</li> <li>- Фонтанирование, циркулирующий слой и пневмотранспорт зернистого материала.</li> <li>- Аэродинамика закрученных потоков. Взаимодействие сплошной и дисперсной фаз в закрученном потоке.</li> <li>- Аэродинамические условия организации эффективного циклонного теплотехнологического процесса.</li> </ul>
3	Теплообменные процессы в кипящем слое и в циклонных реакторах	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Теплообменные процессы в объеме кипящего слоя и в закрученных потоках газов.</li> <li>- Теплообмен между газом и частицами зернистого материала.</li> <li>- Зависимость интенсивности теплообмена от аэродинамических условий обтекания частиц материала потоком газа.</li> <li>- Теплоотдача от кипящего зернистого слоя к погруженному в него телу.</li> <li>- Интенсивность теплообмена закрученного потока газов с ограждающими поверхностями технологического циклона.</li> </ul>
4	Тепловая обработка технологического сырья в кипящем слое и циклонных реакторах	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Примеры промышленного применения устройств с кипящим слоем и циклонных камер для интенсификации тепловой обработки технологических материалов.</li> <li>- Охлаждение цементного клинкера при остром дутье в колосниковых холодильниках; декарбонизация сырьевой смеси в кальцинаторах с кипящим слоем.</li> <li>- Нагрев сырьевой смеси в производстве цементного клинкера; декарбонизация сырьевой смеси в циклонных кальцинаторах.</li> <li>- Обесфторивание фосфатов в плавильных циклонах; воз-</li> </ul>

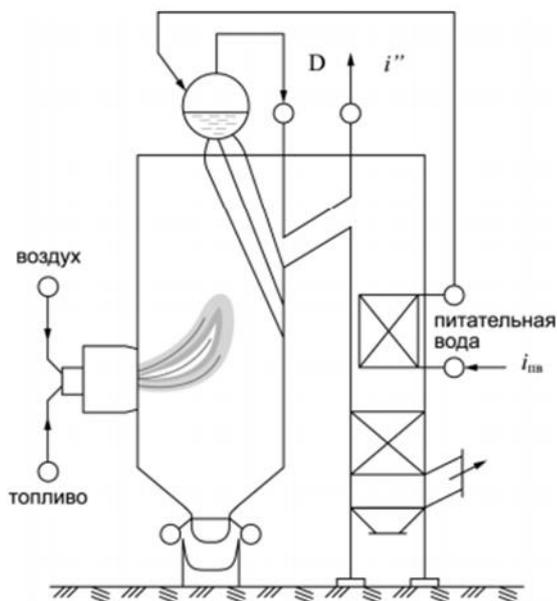
		гонка цветных металлов. -Обжиг серного колчедана в кипящем слое при производстве серной кислоты. - Циклонные ВТУ.
5	Сушка и обезвоживание растворов в кипящем слое	-Тепловой баланс сушильных установок. -Уравнения тепломассопереноса в процессах сушки. -Кинетика сушки и нагрева влажного зернистого материала. - Преимущества сушки в кипящем и фонтанирующем слое. - Конструктивные схемы установок с кипящим слоем и аэрофонтанных сушилок. - Возможности сушки зернистых материалов в циклонных камерах. - Комбинированные виды сушилок.
6	Горение топлива в циркулирующем кипящем слое и в циклонных реакторах	-Горение при подаче в кипящий слой газообразного топлива и окислителя. - Горение твердых топлив в кипящем зернистом слое. -Экологические преимущества сжигания низкосортных топлив в кипящем слое с циркулирующей насадкой. - Горение природного газа в закрученных потоках. -Интенсификация горения твердых топлив в циклонных камерах. - Интенсификация горения мазута в циклонных камерах. -Циклонные предтопки с жидким шлакоудалением. -Экологические преимущества и недостатки циклонных топок
7	Теплофикация на современном этапе и основные пути повышения ее системной эффективности	- Энергетика и топливно-энергетические ресурсы России. Место и значение теплоснабжения. -Способы теплоснабжения: централизованное, децентрализованное, их преимущества и недостатки. - Понятие о централизованном теплоснабжении. Ведущая роль централизованного теплоснабжения на базе теплофикации. -Основные этапы развития централизованного теплоснабжения; его технико-экономические преимущества, социальное значение. -Проблемы теплофикации и основные пути повышения ее системной эффективности. - Совершенствование теплофикационных паровых турбин с отопительными отборами пара. Ступенчатый подогрев сетевой воды. - Высокоэффективные теплофикационные паровые турбины со ступенчатым подогревом сетевой воды. -Повышение эффективности использования действующих паротурбинных установок тепловых электростанций. -Использование турбин конденсационных электростанций для теплоснабжения. Эффективность использования КЭС для теплоснабжения. -Развитие теплоснабжения на базе малой теплофикации.

		-Установка теплофикационных турбин в котельных. -Технико-экономическая эффективность малой теплофикации.
8	Повышение эффективности, надежности и экономичности систем транспорта теплоты	-Выбор оптимальной толщины тепловой изоляции теплопроводов. - Техническое перевооружение тепловых сетей на основе промышленных теплогидропредызолированных теплопроводов. - Разработка трассы, монтажной схемы и продольного профиля тепловых сетей. - Создание самокомпенсирующихся трубопроводов теплосети. - Снижение затрат энергии на транспорт теплоносителя. -Выбор оптимального проектного и эксплуатационного температурного графика системы теплоснабжения. Составляющие издержек, зависящие от температурного графика.

### Перечень типовых задач для экзамена (ПК-2.2.)

#### Задача

Рассчитать экономию газообразного топлива, если в результате реконструкции КПД котлоагрегата повысился с 80 % до 90 %. Схема котельного агрегата приведена на рис.1.



#### Исходные данные:

паропроизводительность котлоагрегата

$$D = 75 \text{ т/ч};$$

давление пара

$$P_{п} = 40 \text{ ата } (40 \cdot 10^5 \text{ Па});$$

температура перегретого пара

$$t_{пг} = 440 \text{ }^\circ\text{C};$$

температура питательной воды

$$t_{п.в} = 105 \text{ }^\circ\text{C}.$$

### Задача

Рассчитать потери тепловой мощности от участка неизолированного трубопровода длиной 1,5 км с температурой теплоносителя  $t = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при температуре окружающего воздуха  $t_{\text{н}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Диаметр трубопровода  $d = 219\text{ мм}$  теплопроводность воздуха и вязкость воздуха принять равными  $\lambda = 0,0283\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и  $\nu = 19\cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\text{Pr} = 0,71$ . При тарифе на тепловую энергию  $P_q = 2000\text{ руб./Гкал}$  без НДС рассчитать экономический ущерб в рублях от потерь тепловой энергии за отопительный сезон ( $n = 5000\text{ часов в год}$ ). Коэффициент теплоотдачи за счет излучения принимается в соответствии со СНиП «Тепловые сети» равным  $5\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

### Задача

Котел имеет тепловую мощность 16 МВт. В котле сжигают газ северных месторождений ( $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 35600\text{ кДж/м}^3$ ;  $V_0 = 9,44\text{ м}^3/\text{м}^3$ ;  $V_{\text{г}}^0 = 10,6\text{ м}^3/\text{м}^3$ ) с коэффициент избытка воздуха 1,3. Температура уходящих газов составляет  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как изменится КПД, если коэффициент избытка воздуха станет равным 1,5. Теплоемкость сгорания принять равной  $1,4\text{ кДж/(}^{\circ}\text{C}\cdot\text{кг)}$ .

### Задача

Из котла ДЕ-25, вырабатывающего насыщенный пар с давлением 14 атм, осуществляют непрерывную продувку. Процент продувки равен  $P = 9\%$ . Определить экономию топлива, которую можно получить за счет пара вторичного вскипания и охлаждения конденсата до температуры  $t_{\text{к}} = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если абсолютное давление в расширителе непрерывной продувки составляет 0,12 МПа. В котле ДЕ сжигают газ северных месторождений, КПД котла 92%.

### Задача

В топке котла Е – 500 – 13,8 ГМ ( $p = 13,8\text{ МПа}$ ,  $t_{\text{пп}} = 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) имеется радиационный пароперегреватель (РПП), выполненный из шести горизонтальных U – образных панелей по одной на боковых стенах ( $n_{\text{б}} = 2$ ) при ширине топки  $b_{\text{т}} = 7,68\text{ м}$  и по две на фронтальной и задней стенах ( $n_{\text{ф}} = 2$ ,  $n_{\text{з}} = 2$ ) при высоте топки  $a_{\text{т}} = 13,52\text{ м}$ , расположенных сверху испарительных вертикальных экранов. Каждая из панелей состоит из 30 труб ( $n_{\text{тр}} = 30$ ) с наружным диаметром  $d_{\text{тр}} = 36\text{ мм}$ , толщиной стенки 5 мм и с шагом  $s = 40\text{ мм}$ . Ширина поверхности панели, занятая трубами,  $l_{\text{тр}} = d_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}} = 0,036 \cdot 30 = 1,08\text{ м}$ . Ширина ленты одной панели  $b_{\text{л}} = 1,16\text{ м}$ . Интенсивность теплового потока в этой зоне  $q_{\text{л}} = 157,6\text{ кВт/м}^2$ . Нижняя отметка расположения панелей от пода топки 11,5 м. Определить, насколько увеличится тепловосприятие радиационного пароперегревателя, если его сместить вниз на 4 м в зону с тепловым потоком  $q_{\text{л}}' = 235,7\text{ кВт/м}^2$ . Удельный расход топлива принять  $B_{\text{р}} = 9,25\text{ кг/с}$ .

### Задача

Среднечасовая тепловая нагрузка на нужды горячего водоснабжения жилого квартала  $Q_{\text{св}}^{\text{сп}} = 2,85\text{ Гкал/ч}$ . Теплоноситель для системы ГВС – водопроводная вода, нагревая в теплообменниках ЦТП по закрытой схеме от температуры  $t_x = 5^{\circ}\text{C}$  до  $t_z = 55^{\circ}\text{C}$ . Определить расчетный расход горячей воды для нужд ГВС.

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. Шухова»**

Кафедра энергетики теплотехнологии

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Дисциплина Энергоэффективные процессы и установки

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №**

1. Уравнение теплового баланса для оценки энергетической эффективности теплотехнологической установки.
2. Горение природного газа в закрученных потоках.
3. Задача

Утверждено на заседании кафедры «  »    201    г., протокол №   .

Заведующий кафедрой    Ю.В. Васильченко

**5.2.2. Перечень контрольных материалов  
для защиты курсового проекта**

Индикатор (ПК-2.2.)

1. Аэродинамика сплошного потока в двухфазных системах.
2. Условия псевдооживления. Взаимодействие сплошной и дискретной фаз.
3. Фонтанирование, циркулирующий слой и пневмотранспорт зернистого материала.
4. Аэродинамика закрученных потоков. Взаимодействие сплошной и дисперсной фаз в закрученном потоке.
5. Аэродинамические условия организации эффективного циклонного теплотехнологического процесса.
6. Теплообменные процессы в объеме кипящего слоя.
7. Теплообмен между газом и частицами зернистого материала.
8. Зависимость интенсивности теплообмена от аэродинамических условий обтекания частиц материала потоком газа.
9. Теплоотдача от кипящего зернистого слоя к погруженному в него телу.
10. Интенсивность теплообмена закрученного потока газов с ограждающими поверхностями технологического циклона.
11. Примеры промышленного применения устройств с кипящим слоем и циклонных камер для интенсификации тепловой обработки технологических материалов.
12. Обжиг серного колчедана в кипящем слое при производстве серной кислоты.
13. Циклонные ВТУ.
14. Применение теплоэнергетических балансов для анализа возможностей повышения энергетической эффективности при обжиге колчедана в теплотехнологической схеме производства серной кислоты.
15. Снижения тепловых потерь и технико-экономической оптимизации теплотехнологических установок для обжига серного колчедана.
16. Совершенствование аэродинамических и теплообменных процессов работы как необходимое условие достижения энергетической эффективности печи кипя-

щего слоя.

17. Интенсификация тепломассообмена при псевдоожигении и закрученных циклонных потоках.

18. Энергоэффективные теплотехнологические установки для обжига сырьевых материалов и горения в кипящем слое.

19. Энергетическая эффективность современных систем для обжига сырьевых материалов в различных теплотехнологических процессах.

20. Роль математического моделирования в энерготехнологическом совершенствовании процессов аэродинамики и теплообмена в теплотехнологических установках.

21. Тепловой баланс сушильных установок.

22. Основы теории тепломассопереноса в процессах сушки.

23. Кинетика сушки и нагрева влажного зернистого материала.

24. Преимущества сушки в кипящем и фонтанирующем слое.

25. Конструктивные схемы установок с кипящим слоем и аэрофонтанных сушилок, возможности сушки зернистых материалов в циклонных камерах.

25. Комбинированные виды сушилок.

26. Устройство и конструктивные особенности печи кипящего слоя для обжига серного колчедана.

27. Как осуществляется загрузка сырья в печь?

28. Как предотвращается унос мелких фракций сырья из печи?

29. Какая футеровка и теплоизоляционные материалы применяются для корпуса печи?

30. Как обеспечить утилизацию теплоты отходящих газов после печи с целью увеличения энергетической эффективности?

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

#### **Лабораторные занятия**

Выполнение лабораторных работ по дисциплине осуществляется в соответствии с перечнем лабораторных работ, для каждой работы указывается цель, представляются необходимые теоретические сведения и обработка результатов.

Защита лабораторных работ возможна после допуска к выполнению, выполнения работы, 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	Аэродинамические основы энергоэффективных теплотехнологических процессов (ПК-2.2.)	1. При каких аэродинамических условиях зернистый слой становится «кипящим»? 2. Как рассчитать скорость витания шарообразной твердой частицы?

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
		3. Как рассчитать порозность кипящего слоя при заданном расходе сплошной среды? 4. Какими способами выполняется крутка потока газов? 5. Чем характеризуется аэродинамический циклонный эффект?
2	Теплообменные процессы в кипящем слое и в циклонных реакторах (ПК-2.2.)	1. Приведите уравнение теплового баланса. 2. Роль температурного напора при тепловой обработке сырья и материалов в кипящем слое и в циклонных реакторах. 3. Теплообмен между частицами и газом в кипящем слое. 4. Теплообмен между частицами и капельной жидкостью. 5. Обобщение зависимостей по теплообмену в кипящем слое. 6. Какие зависимости для расчета высоты активной зоны? 7. Температурная пульсация в кипящем слое. 8. Приведите расчетные формулы для определения коэффициента характеристик кипящего слоя при различных условиях процесса. 9. Приведите формулу Дарси-Вейсбаха. 10. Как определяется скорость газов при создании кипящего слоя?
3	Тепловая обработка технологического сырья в кипящем слое и циклонных реакторах (ПК-2.2.)	1. С какой целью составляются тепловые балансы энерготехнологических установок? 2. Как рассчитать расход топлива для ведения технологического процесса? 3. Что является неизвестной величиной в системе уравнений теплового баланса? 4. Какими способами выполняется решение системы уравнений? 5. Почему тепловому расчету установки должен предшествовать материальный расчет? 6. Какие основные характеристики кипящего слоя? 7. Какое основное условие должно соблюдаться при подаче сырья в циклонные реакторы? 8. Как определяется эффективность обработки технологического сырья в кипящем слое и циклонных реакторах?
4	Горение топлива в циркулирующем кипящем слое и в циклонных реакторах (ПК-2.2.)	1. Что представляет собой процесс горения? 2. С какой целью выполняют материальный баланс горения топлива? 3. Как определяется энтальпия продуктов сгорания? 4. Напишите основное уравнение горения топлива. 5. Напишите уравнение неполного горения топлива. 6. Тепловой баланс и тепловые потери горения топлива. 7. Интенсификация сжигания газообразных топлив. 8. Горение топлива в циркулирующем кипящем слое. 9. Горение топлива в циклонных реакторах. 10. Основные условия интенсификации сжигания топлив.
5	Теплофикация на современном этапе и основные пути повышения ее системной эффективности (ПК-2.2.)	1. Опишите термодинамическую схему цикла ПГУ. 2. Что используется в качестве рабочего тела в цикле ПГУ и в каких установках вырабатывается? 3. Как определить эффективность ПГУ? 4. что такое теплофикация? Какие ее цели на современном этапе?

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
		5. С какой целью котельные переводят в режим теплофикационный? 6. Как определить энергетическую эффективность паротурбинной «подстройки» ПГУ? 7. Какие турбины рекомендуется применять для паротурбинной «подстройки» ПГУ?
6	Повышение эффективности, надежности и экономичности систем транспорта теплоты (ПК-2.2.)	1. Сравните водяные и паровые системы теплоснабжения. Каковы их преимущества и недостатки? Чем объясняется преимущественное применение при теплофикации в России водяной системы теплоснабжения? 2. Сравните закрытые и открытые системы теплоснабжения. Каковы их преимущества и недостатки? Область целесообразного применения каждой системы. 3. В чем заключаются основные требования к конструкциям современных теплопроводов? Назовите сортамент трубопроводов тепловой сети и типы применяемой арматуры. 4. Сравните подземные теплопроводы в проходных каналах, непроходных и бесканальных. Назовите преимущества и недостатки каждого типа прокладки и основные области их целесообразного применения. 5. Назовите конструкции современных компенсаторов температурных деформаций трубопроводов тепловых сетей. Как производится расчет и подбор П - образных компенсаторов? 6. Охарактеризуйте конструкции опор трубопроводов тепловых сетей. Приведите расчетную формулу для определения результирующего усилия, действующего на неподвижную опору теплопровода. 7. Каковы основные особенности и требования к теплоизоляционным конструкциям теплопроводов? 8. Приведите зависимость термического сопротивления от наружного диаметра теплоизоляционной оболочки теплопровода. 9. Изложите методику расчета температуры воздуха в непроходном канале теплотрассы с двумя теплопроводами.

## Практические занятия

*Типовые разноуровневые задачи и задания*

Индикатор (ПК-2.2.)

### Задача

Расчет охладителя конденсата. Определить экономическую эффективность включения охладителя конденсата для подогрева питательной воды. Схема приведена на рис.1.

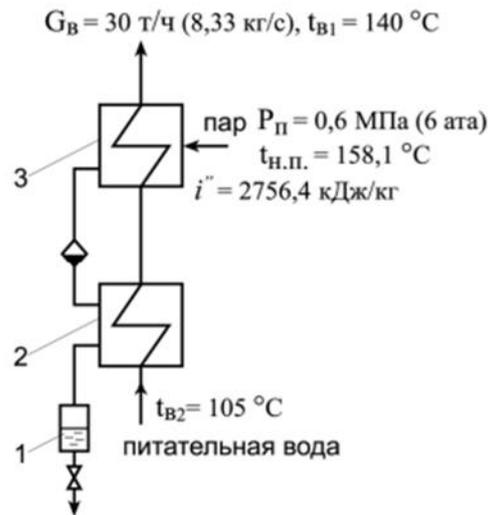


Рис. 1. Расчетная схема включения охладителя конденсата для подогрева питательной воды: 1 – сборник конденсата; 2 – охладитель конденсата; 3 – подогреватель питательной воды

Исходные данные:

расход воды	$G_B = 30 \text{ т/ч (8,33 кг/с)}$ ;
начальная температура воды	$t_{B2} = 105 \text{ °C}$ ;
температура нагретой воды	$t_{B1} = 140 \text{ °C}$ ;
пар сухой насыщенный:	
давление	$P = 0,6 \text{ МПа}$ ;
энтальпия	$i'' = 2756,4 \text{ кДж/кг}$ ;
температура насыщения	$t_{н.п} = 158,1 \text{ °C}$ ;
температура конденсата после охладителя	$t_K = 110 \text{ °C}$ ;
энтальпия конденсата	$i' = 670,4 \text{ кДж/кг}$ .

### Задача

Расчет потерь энергии при дросселировании пара.

Теплотехнологическая установка снабжается паром из паропровода, имеющего давление  $P_1$ . С помощью редуционного клапана давление снижается до  $P_2$ . Расход пара  $D_p = 10 \text{ т/ч}$ . Определить потерю энергии и топлива в результате дросселирования пара. Схема теплоснабжения теплотехнологической установки с помощью редуцирования пара приведена на рис.2.

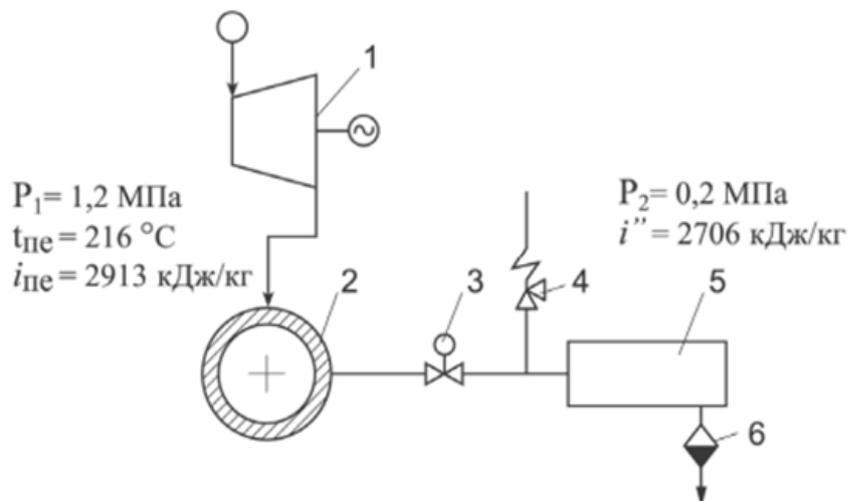


Рис.2. Схема теплоснабжения теплотехнологической установки с помощью редуцирования пара: 1 – паровая турбина; 2 – паропровод; 3 – редуциционный клапан; 4 – предохранительный клапан; 5 – теплотехнологическая установка; 6 – отвод конденсата

### Задача

Найдите эксергетический КПД теплового насоса, использующего теплоту сточных вод с температурой  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  для подогрева воды, идущее на горячее водоснабжение, до температуры  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент трансформации теплоты 3,5. Температура окружающей среды  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Задача

Рассчитать потери тепловой мощности от участка неизолированного трубопровода длиной 1,5 км с температурой теплоносителя  $t = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при температуре окружающего воздуха  $t_n = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Диаметр трубопровода  $d = 219\text{ мм}$  теплопроводность воздуха и вязкость воздуха принять равными  $\lambda = 0,0283\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и  $\nu = 19\cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\text{Pr} = 0,71$ . При тарифе на тепловую энергию  $P_q = 2000\text{ руб./Гкал}$  без НДС рассчитать экономический ущерб в рублях от потерь тепловой энергии за отопительный сезон ( $n = 5000$  часов в год). Коэффициент теплоотдачи за счет излучения принимается в соответствии со СНиП «Тепловые сети» равным  $5\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

### Задача

Котел имеет тепловую мощность 16 МВт. В котле сжигают газ северных месторождений ( $Q_n^p = 35600\text{ кДж/м}^3$ ;  $V_0 = 9,44\text{ м}^3/\text{м}^3$ ;  $V_r^0 = 10,6\text{ м}^3/\text{м}^3$ ) с коэффициент избытка воздуха 1,3. Температура уходящих газов составляет  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как изменится КПД, если коэффициент избытка воздуха станет равным 1,5. Теплоемкость сгорания принять равной  $1,4\text{ кДж/(}^{\circ}\text{C}\cdot\text{кг)}$ .

### Задача

Из котла ДЕ-25, вырабатывающего насыщенный пар с давлением 14 атм, осуществляют непрерывную продувку. Процент продувки равен  $P = 9\%$ . Определить экономию топлива, которую можно получить за счет пара вторичного вски-

пания и охлаждения конденсата до температуры  $t_k = 42 \text{ }^\circ\text{C}$ , если абсолютное давление в расширителе непрерывной продувки составляет 0,12 МПа. В котле ДЕ сжигают газ северных месторождений, КПД котла 92%.

### Задача

Определите часовую экономию условного топлива при уменьшении температуры уходящих газов от 190 до 130  $^\circ\text{C}$  для котла, работающего на природном газе при следующих условиях: тепловая мощность котла 50 МВт, КПД котла брутто  $\eta_{к.бр} = 79\%$ , объем дымовых газов  $V_{yx} = 11,2 \text{ м}^3$ , удельная теплоемкость дымовых газов  $C_{ух} = 1,34 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ . Определить величину экономического эффекта в рублях в час при цене газа 4000 руб./1000 м<sup>3</sup> без НДС.

### Задача

В топке котла Е – 500 – 13,8 ГМ ( $p = 13,8 \text{ МПа}$ ,  $t_{шт} = 560 \text{ }^\circ\text{C}$ ) имеется радиационный пароперегреватель (РПП), выполненный из шести горизонтальных U – образных панелей по одной на боковых стенах ( $n_б = 2$ ) при ширине топки  $b_t = 7,68 \text{ м}$  и по две на фронтальной и задней стенах ( $n_ф = 2$ ,  $n_з = 2$ ) при высоте топки  $a_t = 13,52 \text{ м}$ , расположенных сверху испарительных вертикальных экранов. Каждая из панелей состоит из 30 труб ( $n_{тр} = 30$ ) с наружным диаметром  $d_{тр} = 36 \text{ мм}$ , толщиной стенки 5 мм и с шагом  $s = 40 \text{ мм}$ . Ширина поверхности панели, занятая трубами,  $l_{тр} = d_{тр} \cdot n_{тр} = 0,036 \cdot 30 = 1,08 \text{ м}$ . Ширина ленты одной панели  $b_л = 1,16 \text{ м}$ . Интенсивность теплового потока в этой зоне  $q_л = 157,6 \text{ кВт/м}^2$ . Нижняя отметка расположения панелей от пода топки 11,5 м. Определить, насколько увеличится тепловосприятие радиационного пароперегревателя, если его сместить вниз на 4 м в зону с тепловым потоком  $q_л' = 235,7 \text{ кВт/м}^2$ . Удельный расход топлива принять  $B_p = 9,25 \text{ кг/с}$ .

### Задача

Сравните эксергетический КПД двух теплообменных аппаратов, используемых для подогрева воды от 70 до 95  $^\circ\text{C}$  дымовыми газами. В первом из них температура дымовых газов на входе в аппаратах составляет 450  $^\circ\text{C}$ , а на выходе из него - 320  $^\circ\text{C}$ . Во втором аппарате температуры дымовых газов на входе и выходе равны - 250 и 120  $^\circ\text{C}$

### Задача

Рассчитать теплотери двух теплопроводов, проложенных в непроходном канале.

**Заданы:** диаметры трубопроводов  $d_n$ , толщины изоляции  $\delta_{из1}$  и  $\delta_{из2}$ , температуры теплоносителей  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Внутренние размеры канала: ширина  $H$ , высота  $h$ , толщина стенок  $b$ , основания и перекрытия  $\delta$ . Глубина заложения оси трубопроводов  $h_\Gamma$ ; коэффициент теплоотдачи внутри канала  $\alpha_n = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$ ; коэффициент

ты теплопроводности: изоляции  $\lambda_{из} = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ; грунта  $\lambda_{зп} = 1,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  
 стенок канала  $\lambda_{к} = 1,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ; температура грунта на оси канала  $t_2 = 5^\circ \text{C}$ ;  $\beta = 0,2$ .

Исходные данные для теплового расчета теплопроводов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Численные данные к заданию

Последняя цифра шифра	Диаметр теплопровода $d_n \times S, \text{ мм}$	Толщина изоляции, мм		Габариты канала, мм		Температура теплоносителя $^\circ \text{C}$		Заглубление оси теплопроводов $h_z, \text{ м}$
		$\delta_{из1}$	$\delta_{из2}$			$\tau_1$	$\tau_2$	
1	57 × 3	80	450	400	50	125	70	1,2
2	76 × 3	80	400	400	50	125	70	1,4
3	89 × 3	80	450	400	50	135	70	1,6
4	108 × 4	90	400	400	50	140	70	2,0
5	133 × 4	100	400	400	50	145	70	1,8
6	159 × 4,5	100	600	400	50	130	70	1,3
7	194 × 5,0	100	600	200	00	135	70	1,5
8	219 × 6	100	600	200	00	140	70	1,7
9	273 × 7	100	600	200	00	125	70	1,9
0	325 × 8	100	600	500	00	130	70	1,4

**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

<b>ПК-2.</b> Способен разрабатывать проектные решения для тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов	
<b>ПК-2.2.</b> Разрабатывает проектные решения для повышения энергетической эффективности теплотехнологических процессов и установок.	
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 повышения энергоэффективности теплотехнологических процессов и установок;	Знает основные закономерности, соотношения, принципы повышения энергоэффективности теплотехнологических процессов и установок;	Знает основные закономерности, соотношения, принципы повышения энергоэффективности теплотехнологических процессов и установок; ; их интерпретирует и использует	Знает основные закономерности, соотношения, принципы повышения энергоэффективности теплотехнологических процессов и установок; ; может самостоятельно их вывести, объяснить и использовать
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает только основную материал дисциплины, не усвоил его деталей	Знает материал дисциплины в достаточном объеме	Обладает твердым и полным знанием материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Дает неполные ответы на большинство вопросов	Дает ответы на вопросы, но не все – полные	Дает полные, развернутые ответы на поставленные во-

				просы
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
	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 методики выполнения задания	Задание выполнено с существенными неточностями, не носящими принципиальный характер	Задание выполнено с небольшими неточностями	Задание выполнено без ошибок
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 выпол-	При применении теоретического материала допущены ошибки, не носящие принципиальный харак-	Теоретический материал применен и интерпретирован в целом правильно, но с несущественными	Теоретический материал применен и интерпретирован правильно

	нения задания	тер	неточностями	
--	---------------	-----	--------------	--

### 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
Обоснование полученных результатов	Представляемые результаты не обоснованы	Имеются замечания к полученным результатам, отсутствует в достаточной степени их обоснование	Представляемые результаты обоснованы и в целом аргументированы, имеются ссылки на нормативные, справочные и учебно-методические источники	Представляемые результаты обоснованы, четко аргументированы с указанием ссылок на нормативные, справочные и учебно-методические источники

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

### 6.1. Материально-техническое обеспечение

Помещения для самостоятельной работы: читальный зал библиотеки, учебная аудитория

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду
	Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, самостоятельной работы	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук, лабораторные стенды и оборудование
	Методический кабинет	Специализированная мебель; мультимедийный

## 6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
	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
	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

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

1. Дзюзер, В. Я. Теплотехника и тепловая работа печей : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подгот. бакалавров и магистров "Стр-во" всех форм обучения / В. Я. Дзюзер. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург ; Москва; Краснодар : Лань, 2016. - 383 с.
2. Лисиенко, В.Г. Совершенствование и повышение эффективности энерготехнологий и производств / Лисиенко В.Г. - М.: Теплотехник, 2010. - 688 с.
3. Трубаев, П.А. Исследование процессов теплообмена в материалах и аппаратах цементной технологии / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко, В.А. Украинский, В.В. Сухорослова - Белгород: Изд-во БГТУ, БИЭИ, 2013. - 190 с.
4. Гашо, Е.Г. Методические рекомендации по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности: Справочно-аналитический документ / Е.Г. Гашо, СВ. Гужов, П.А. Трубаев и др. - М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. - 56 с.
5. Шубин, В.И. Энергосбережение и охрана окружающей среды при производстве цемента / В.И. Шубин, Л.Н. Гриневич и др. - М.: НИИЦЕМЕНТ, 2006. - 55 с.
6. Винтовкин, А.А. Технологическое сжигание и использование топлива А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, Ю.М. Голдобин, Г.П. Ясников. - М.: Теплотехник, 2005. -288 с.
7. Кубин, М. Сжигание твердого топлива в кипящем слое / Кубин М. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 144 с.
8. Тодес, СМ. Аппараты с кипящим зернистым слоем / Тодес СМ., Цитович СБ. - Д.: Химия, 1981.-296 с.
9. Маршак, Ю.А. Топочные устройства с вертикальными циклонными камерами / Маршак Ю.А. - М.: Энергия, 1966. - 320 с.
10. Мухленова, И.П. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник / Под ред. И.П. Мухленова, В.С. Сажина, В.Ф. Фролова. - Д.: Химия, 1986. - 352 с.

### **Перечень интернет-ресурсов**

1. <https://gisee.ru/about/> - Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Справочно-информационный центр.
2. <http://www.energy2020.ru/> - «ЭнергоэффективнаяРоссия.РФ». Интернет-портал о современных технологиях энергосбережения и повышении энергетической эффективности.
3. <http://www.energsovet.ru/> - Портал по энергосбережению «Энергосовет».
4. <https://soft.abok.ru/> — АВОК-Софт Онлайн - расчеты и программы для проектировщиков в области ОВК. Полезная информация для специалистов.
5. [https://www.abok.ru/pages.php?block=en\\_mag](https://www.abok.ru/pages.php?block=en_mag) - Некоммерческое партнерство инженеров. Библиотека научных статей журналов «Энергосбережение» И «АВОК».
6. <http://www.energyexpert.ru/> - «ЭнергоЭксперт». Региональное энергосбережение; программы и стратегии повышения энергоэффективности; реализация, мониторинг и сопровождение городских и муниципальных программ энергосбережения.

### **Справочная и нормативная литература**

1. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия в четырех книгах / Под ред. Клименко А.В., Зорина В.М. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 528 с., 564 с., 648 с., 632 с.
2. Справочник по теплообменникам в 2-х томах. Пер. с английского, М.: Энергоатомиздат, 1987 г.
3. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Под общ. ред. Григорьева В.А. и Зорина В.М. М.: 1991 г. тт. 1-4.
4. Смирнов, А. Д. Справочная книжка энергетика : [справ.] / А. Д. Смирнов, К. М. Антипов . - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 2006.
5. Справочник по пыле- и золоулавливанию. Изд. 2, переработанное под общей редакцией Русанова А.А. М.: Энергоатомиздат, 1983 г.
6. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. Изд. 2 под общей редакцией Григорьева В.А., Зорина В.М. Книга 4. М.: Энергоатомиздат, 1991 г.

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

1. <http://www.iprbookshop.ru/28374.html>
2. <http://www.iprbookshop.ru/81004.html>
3. <http://www.iprbookshop.ru/20458.html>
4. <http://www.iprbookshop.ru/20459.html>
5. <http://www.iprbookshop.ru/21761.html>