


**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)

**Комбинированные энерготехнологические 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

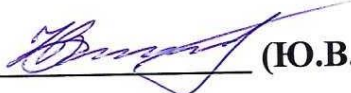
Рабочая программа составлена на основании требований:

- 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 «10» 05 2021 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
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>			
<p>Проектно-конструкторские задачи профессиональной деятельности</p>	<p><b>ПК-2.</b> Способен разрабатывать проектные решения для тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и тепло-технологических объектов</p>	<p><b>ПК-2.3.</b> Разрабатывает проектные решения для комбинированных энерготехнологических установок.</p>	<p>Показатели оценивания результата обучения по дисциплине:</p> <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные комбинированные энерготехнологические установки;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводить оценку комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков;</li> <li>• разрабатывать проектные решения для комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• существующими техническими методами комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков;</li> <li>• методами научного поиска методов и методик комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

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

## 3. 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. Основы энерготехнологического комбинирования</b>					
	<p>Применение теплоэнергетических балансов для анализа возможностей энерготехнологического комбинирования. Снижения тепловых потерь и обеспечение технико-экономической оптимизации теплотехнологических установок с помощью энерготехнологического комбинирования. Совершенствование аэродинамических и теплообменных процессов работы как необходимое условие достижения энергетической эффективности при организации энерготехнологического комбинирования. Интенсификация теплообмена. Энергоэффективные комбинированные энерготехнологические установки для сушки и обжига сырьевых материалов и получения дополнительных источников энергии. Энергетическая эффективность современных комбинированных энерготехнологических установок в различных отраслях производства, системах получения энергии и в энергоснабжении. Роль математического моделирования в энерготехнологическом комбинировании различных энерготехнологических процессов.</p>	4	2	8	12
<b>2. Вторичные энергоресурсы при организации комбинирования энерготехнологических установок</b>					
	<p>Классификация вторичных энергоресурсов. Горючие ВЭР, получаемые в результате технологических процессов. Коксовый и доменный газы в черной металлургии. коксовый и доменный газы в черной металлургии. Тепловые ВЭР. ВЭР избыточного давления. Основные принципы использования газообразных горючих отбросных газов в сажевом производстве. Технологическая схема производства активных сортов углерода. Горелка для сжигания газов, содержащих жидкие фракции. Огневое обезвреживание шламов металлургических производств.</p>	4			2
<b>3. Утилизация высокотемпературных тепловых отходов</b>					

<p>Газотрубные котлы-утилизаторы.  Применение газотрубных котлов-утилизаторов. Технические характеристики. Преимущества и недостатки. Котлы-утилизаторы Г-250, Г-250П, Г-345, Г-345П, Г-550П.</p> <p>Водотрубные котлы-утилизаторы.  Котлы-утилизаторы КУ-40, КУ-60, КУ-100, КУ-100Б1, КУ-125, КУ-150. Их технические характеристики и конструкционные особенности.</p> <p>Пакетно-конвективные котлы (ПКК), их применение, технические характеристики и конструкционные особенности.</p> <p>Котлы-утилизаторы за обжигowymi печами серного колчедана. Схема энерготехнологического агрегата (ЭТА) для низкотемпературного обжига колчедана в кипящем слое. Котлы КС-200 ВТКУ и КС-450 ВТКУ. Тепловой баланс схемы обжига колчедана.  ЭТА печь – паровой котел ПКС-10/40, предназначенный для сжигания сероводорода и охлаждения продуктов сгорания.</p> <p>Серный энерготехнологический агрегат САТА-Ц-100-в технологическом процессе получения серной кислоты из элементарной серы или сероводорода.  Установки сухого тушения кокса (УСТК).  Тепловой баланс камеры тушения кокса.</p> <p>Газотрубные котлы-утилизаторы.  Применение газотрубных котлов-утилизаторов. Технические характеристики. Преимущества и недостатки. Котлы-утилизаторы Г-250, Г-250П, Г-345, Г-345П, Г-550П.</p> <p>Водотрубные котлы-утилизаторы.  Котлы-утилизаторы КУ-40, КУ-60, КУ-100, КУ-100Б1, КУ-125, КУ-150. Их технические характеристики и конструкционные особенности.</p> <p>Пакетно-конвективные котлы (ПКК), их применение, технические характеристики и конструкционные особенности.</p> <p>Котлы-утилизаторы за обжигowymi печами серного колчедана. Схема энерготехнологического агрегата (ЭТА) для низкотемпературного обжига колчедана в кипящем слое. Котлы КС-200 ВТКУ и КС-450 ВТКУ. Тепловой баланс схемы обжига колчедана.  ЭТА печь – паровой котел ПКС-10/40, предназначенный для сжигания сероводорода и охлаждения продуктов сгорания.</p> <p>Серный энерготехнологический агрегат САТА-Ц-100-в технологическом процессе получения серной кислоты из элементарной серы или сероводорода.  Установки сухого тушения кокса (УСТК).  Тепловой баланс камеры тушения кокса.  Котлы-утилизаторы сталеплавильных конвертеров.</p>	6	3	8	14
<b>4. ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ</b>				

	<p>Энерготехнологическое комбинирование в прокате производстве. Схема ЭТА для нагрева металла и выработки энергетического пара</p> <p>Энерготехнологическое комбинирование в целлюлозно-бумажной промышленности.</p> <p>Энерготехнологический содорегенерационный агрегат.</p> <p>Энерготехнологическое комбинирование в доменном производстве. Схема комбинированной установки сжатия и нагрева доменного дутья. Расчет тепловой схемы.</p> <p>Энерготехнологическая схема получения водорода. Расчет тепловой схемы.</p> <p>Охлаждение конструктивных элементов высокотемпературных установок. Схемы водяного охлаждения конструктивных элементов. Испарительное охлаждение. Схема испарительного охлаждения. Преимущества СИО.</p>	4	4	8	14
<b>5. Использование отработавшего пара</b>					
	<p>Основные направления использования отработавшего пара.</p> <p>Использования отработанного пара в теплоснабжении. Принципиальная схема использования отработавшего пара для теплоснабжения.</p> <p>Использования отработанного пара для выработки электроэнергии.</p> <p>Схемы использования отработавшего пара для выработки электроэнергии.</p> <p>Уравнение теплового баланса аккумулятора.</p> <p>Аккумуляторы Рутса. Схема аккумулятора Рутса.</p> <p>Суточный график работы оборудования.</p>	4	2		6
<b>6. Утилизация низкопотенциальных тепловых отходов</b>					
	<p>Основные технические средства для утилизации теплоты низкопотенциальных ВЭР.</p> <p>Утилизация теплоты загрязненных стоков.</p> <p>Аппарат мгновенного вскипания.</p> <p>Тепловой баланс аппарата мгновенного вскипания.</p> <p>Последовательное включение аппаратов мгновенного вскипания.</p> <p>Утилизация теплоты агрессивных жидкостей.</p> <p>Схема теплообменника с промежуточным теплоносителем.</p> <p>Схема теплообменника с промежуточным теплоносителем.</p> <p>Тепловой баланс установки для охлаждения агрессивных жидкостей.</p> <p>Утилизация теплоты вентиляционных выбросов.</p> <p>Вентиляционные агрегаты Noval LHW (Дания). Основные преимущества.</p> <p>Схема распределения воздушных потоков.</p> <p>Вентиляционный агрегат фирмы Wiessmann.</p>	4	2	6	10

	Регенеративный вращающийся теплообменник РТ-12. Тепловые насосы.				
<b>7. Глубокое охлаждение продуктов сгорания</b>					
	Влажный воздух, влажные продукты сгорания. I-d – диаграмма влажного воздуха. Определение основных характеристик влажного воздуха. Утилизация теплоты низкотемпературных дымовых газов. Контактные теплообменники с активной насадкой – КТАНЫ. Принципиальная схема контактного теплообменника с активной насадкой. Особенности процессов контактного тепломассообмена. Режимы работы насадки. Расчет контактного экономайзера.	4	2		6
<b>8. Парогазовые установки</b>					
	Основные типы парогазовых установок. Парогазовые установки с котлами полного горения (ПГУПГ). Принципиальная тепловая схема ПГУПГ. Идеальный цикл ПГУПГ. Парогазовые установки с высоконапорными парогенераторами (ПГУВ). Принципиальная тепловая схема ПГУВ. Идеальный цикл ПГУВ. Парогазовые установки с котлами-утилизаторами. Принципиальная тепловая схема ПГУКУ. Идеальный цикл ПГУКУ. Количественные показатели термодинамических циклов ПГУ. Термическая эффективность парогазовых установок. Соотношения между параметрами газового и парового циклов. Цикл ПГУ полного горения. Определение термического КПД. Парогазовые установки с впрыском пара. Тепловая схема ПГУ ВП открытого типа. Термодинамический цикл ПГУ с впрыском пара. Изменение КПД газовой турбины при увеличении доли впрыскиваемого пара. Тепловая схемы ПГУ со впрыском пара и промежуточным пароперегревателем. Модернизация котельных в ТЭЦ. Принципиальная тепловая схема мини-ТЭЦ.	4	2	4	8
	ВСЕГО:	34	17	34	72



## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр №3				
1	Основы энерготехнологического комбинирования	Тепловые балансы энерготеплотехнических установок	2	2
2	Утилизация высокотемпературных тепловых отходов	Методика расчета котлов-утилизаторов после ВТУ	3	3
3	Энерготехнологические установки	Расчет тепловой схемы энерготехнологического комбинирования	4	4
4	Использование отработавшего пара	Разработка схемы использования отработавшего пара для теплоснабжения	2	2
5	Утилизация низкопотенциальных тепловых отходов	Расчет теплообменника с промежуточным теплоносителем.	2	2
6	Глубокое охлаждение продуктов сгорания	Контактные теплообменники с активной насадкой – КТАНЫ.	2	2
7	Парогазовые установки	Принципиальная тепловая схема ПГУПГ	2	2
ИТОГО:			17	17
ВСЕГО				34

## 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр №3				
1	Основы энерготехнологического комбинирования	Составление тепловых балансов энерготехнологических установок	8	8
2	Утилизация высокотемпературных тепловых отходов	Подбор и расчет котла-утилизатора КУ-60 в теплотехнологическую схему металлургического производства	8	8
3	Энерготехнологические установки	Разработка схемы ЭТА для нагрева металла и выработки энергетического пара. Тепловой баланс энерготехнологической установки.	8	8
4	Утилизация низкопотенциальных тепловых отходов	Тепловой расчет контактного теплообменника с активной насадкой – КТАНа	6	6
5	Парогазовые установки	Анализ парогазовой установки с впрыском пара.	4	4
ИТОГО:			34	34
ВСЕГО				68

#### 4.4. Содержание курсового проекта

Учебным планом предусмотрено выполнение курсового проекта.

Тематика курсового проекта:

1. Тепловой расчет котла-утилизатора после стекловаренной печи
2. Тепловой расчет котла-утилизатора после нагревательной печи.
3. Тепловой расчет котла-утилизатора после металлургической печи.

Курсовой проект имеет своей целью приобретение студентами умения проводить оценку комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков теплотехнологического процесса, разрабатывать проектные решения для комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков, применяя для этого существующие технические методы комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков.

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

#### Типовое задание

Выполнить теплотехнический расчет тепло утилизатора после мартеновской печи на заданные условия. Определить паропроизводительность котла-утилизатора и температуру отходящих газов после котла-утилизатора. Определить КПД энерготехнологической установки.

#### Исходные данные для расчета:

Расход технологических газов $V_2, \text{м}^3/\text{ч}$	160000;
Начальная температура газов $T_2, ^\circ\text{C}$	850;
Конечная температура газов $T_2^k, ^\circ\text{C}$	213;
Избыточное давление газов $P_{изб}, \text{МПа}$	0,005;
Давление пара на выход из котла $P_{раб}, \text{МПа}$	1,5;
Температура перегретого пара $t_{nn}, ^\circ\text{C}$	250;
Температура питательной воды $t_{nw}, ^\circ\text{C}$	104;

В котел-утилизатор поступают мартеновские газы следующего состава (% об):  
 $CO_2 = 5,5; O_2 = 11,3; H_2O = 4,1; N_2 = 79$ .

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
ПК-2.3. Разрабатывает проектные решения для комбинированных энерготехнологических 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	Основы энерготехнологического комбинирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Применение теплоэнергетических балансов для анализа возможностей энерготехнологического комбинирования. --</li> <li>Снижения тепловых потерь и обеспечение технико-экономической оптимизации теплотехнологических установок с помощью энерготехнологического комбинирования. -</li> <li>- Энергоэффективные комбинированные энерготехнологические установки для сушки и обжига сырьевых материалов и получения дополнительных источников энергии.</li> <li>-Энергетическая эффективность современных комбинированных энерготехнологических установок в различных отраслях производства, системах получения энергии и в энергоснабжении.</li> <li>- Роль математического моделирования в энерготехнологическом комбинировании различных энерготехнологических процессов.</li> </ul>

2	Вторичные энергоресурсы при организации комбинирования энерготехнологических установок	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Классификация вторичных энергоресурсов.</li> <li>-Горючие ВЭР, получаемые в результате технологических процессов. Коксовый и доменный газы в черной металлургии. коксовый и доменный газы в черной металлургии.</li> <li>-Тепловые ВЭР.</li> <li>-ВЭР избыточного давления.</li> <li>-Основные принципы использования газообразных горючих отбросных газов в сажевом производстве.</li> <li>-Технологическая схема производства активных сортов углерода.</li> </ul>
3	Утилизация высокотемпературных тепловых отходов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Газотрубные котлы-утилизаторы.</li> <li>Применение газотрубных котлов-утилизаторов. Технические характеристики. Преимущества и недостатки. Котлы-утилизаторы Г-250, Г-250П, Г-345, Г-345П, Г-550П.</li> <li>Водотрубные котлы-утилизаторы.</li> <li>Котлы-утилизаторы КУ-40, КУ-60, КУ-100, КУ-100Б1, КУ-125, КУ-150. Их технические характеристики и конструкционные особенности.</li> <li>Пакетно-конвективные котлы (ПКК), их применение, технические характеристики и конструкционные особенности.</li> <li>-Котлы-утилизаторы за обжигowymi печами серного колчедана.</li> <li>-Серный энерготехнологический агрегат САТА-Ц-100- в технологическом процессе получения серной кислоты из элементарной серы или сероводорода.</li> <li>- Установки сухого тушения кокса (УСТК).</li> <li>-Газотрубные котлы-утилизаторы.</li> <li>-Водотрубные котлы-утилизаторы.</li> <li>-Пакетно-конвективные котлы (ПКК), их применение, технические характеристики и конструкционные особенности.</li> <li>-Котлы-утилизаторы за обжигowymi печами серного колчедана.</li> <li>-Серный энерготехнологический агрегат САТА-Ц-100- в технологическом процессе получения серной кислоты из элементарной серы или сероводорода.</li> <li>-Котлы-утилизаторы сталеплавильных конвертеров</li> </ul>
4	Энерготехнологические установки	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Энерготехнологическое комбинирование в прокатном производстве. Схема ЭТА для нагрева металла и выработки энергетического пара</li> <li>-Энерготехнологическое комбинирование в целлюлозно-бумажной промышленности.</li> <li>-Энерготехнологический содорегенерационный агрегат.</li> <li>Схема комбинированной установки сжатия и нагрева доменного дутья. Расчет тепловой схемы.</li> <li>-Энерготехнологическая схема получения водорода. Расчет тепловой схемы.</li> <li>-Охлаждение конструктивных элементов высокотемпературных установок. Схемы водяного охлаждения конструктивных элементов.</li> <li>- Испарительное охлаждение. Схема испарительного охлаждения. Преимущества СИО.</li> </ul>
5	Использование отработавшего пара	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Основные направления использования отработавшего пара.</li> </ul>

		<p>-Использования отработанного пара в теплоснабжении. Принципиальная схема использования отработавшего пара для теплоснабжения.</p> <p>-Использования отработанного пара для выработки электроэнергии.</p> <p>Схемы использования отработавшего пара для выработки электроэнергии.</p> <p>-Уравнение теплового баланса аккумулятора.</p> <p>Аккумуляторы Рутса. Схема аккумулятора Рутса.</p>
6	Утилизация низкопотенциальных тепловых отходов	<p>-Основные технические средства для утилизации теплоты низкопотенциальных ВЭР.</p> <p>-Утилизация теплоты загрязненных стоков.</p> <p>Аппарат мгновенного вскипания.</p> <p>-Тепловой баланс аппарата мгновенного вскипания.</p> <p>-Утилизация теплоты агрессивных жидкостей.</p> <p>-Схема теплообменника с промежуточным теплоносителем.</p> <p>-Тепловой баланс установки для охлаждения агрессивных жидкостей.</p> <p>-Утилизация теплоты вентиляционных выбросов.</p> <p>-Тепловые насосы.</p>
7	Глубокое охлаждение продуктов сгорания	<p>-Влажный воздух, влажные продукты сгорания.</p> <p>I-d – диаграмма влажного воздуха. Определение основных характеристик влажного воздуха.</p> <p>-Утилизация теплоты низкотемпературных дымовых газов.</p> <p>Контактные теплообменники с активной насадкой – КТА-Ны.</p> <p>-Принципиальная схема контактного теплообменника с активной насадкой.</p> <p>Особенности процессов контактного тепломассообмена.</p> <p>Режимы работы насадки.</p> <p>-Расчет контактного экономайзера.</p>
8	Парогазовые установки	<p>-Основные типы парогазовых установок.</p> <p>-Парогазовые установки с котлами полного горения (ПГУПГ). Принципиальная тепловая схема ПГУПГ. Идеальный цикл ПГУПГ.</p> <p>-Парогазовые установки с высоконапорными парогенераторами (ПГУВ). Принципиальная тепловая схема ПГУВ. Идеальный цикл ПГУВ.</p> <p>-Парогазовые установки с котлами-утилизаторами.</p> <p>-Количественные показатели термодинамических циклов ПГУ. Термическая эффективность парогазовых установок.</p> <p>-Парогазовые установки с впрыском пара.</p> <p>-Тепловая схема ПГУ ВП открытого типа.</p> <p>-Термодинамический цикл ПГУ с впрыском пара.</p> <p>Изменение КПД газовой турбины при увеличении доли впрыскиваемого пара.</p> <p>-Тепловая схемы ПГУ со впрыском пара и промежуточным пароперегревателем.</p> <p>-Модернизация котельных в ТЭЦ.</p> <p>Принципиальная тепловая схема мини-ТЭЦ.</p>

--	--	--

## Перечень типовых задач для экзамена

### Задача

Определить удельную экономию условного топлива от замещения источником ВЭР котла с КПД, равным 0,84, и коэффициентом расхода теплоты на собственные нужды  $\kappa = 0,025$ .

### Задача

Определить часовой расход топлива для непрерывно действующей камерной печи. Топливо-мазут. Производительность печи - 741 кг/ч. Угар металла - 1,3 % от массы нагреваемого металла, потеря от химического недожога  $q_3 = 1,5$  % от теплоты сгорания топлива. Температура уходящих газов 1300 °С.

Определить также экономию топлива в случае подогрева воздуха до 400 °С. Потеря тепла в окружающую среду равна 473470 кДж/ч

Теплота сгорания топлива 40000 кДж/кг. Температура мазута, поступающего на горение,  $t_m = 90$  °С, температура воздуха, поступающего на горение, 20 °С. Расход воздуха, поступающего на горение,  $V_0 = 10,7v^3$  /кг, коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,15$ .

Для повышения эффективности работы печи и снижения расхода топлива устанавливается рекуператор для подогрева воздуха, идущего на горение до температуры 400 °С.

### Задача

Котел имеет тепловую мощность 16 МВт. В котле сжигают газ северных месторождений ( $Q_n^p = 35600$  кДж/м<sup>3</sup>;  $V_0 = 9,44$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $V_r^0 = 10,6$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) с коэффициентом избытка воздуха 1,3. Температура уходящих газов составляет 160 °С.

Как изменится КПД, если коэффициент избытка воздуха станет равным 1,5. Теплоемкость сгорания принять равной 1,4 кДж/(м<sup>3</sup>\*К).

*Типовой вариант экзаменационного билета*

## «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. Энерготехнологическое комбинирование в прокатном производстве
2. Контактные теплообменники с активной насадкой – КТАНЫ.
3. Задача

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

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

#### Индикатор (ПК-2.3.)

1. Цель теплового расчета.
2. Какие особенности отходящих газов после ВТУ? Как это предусматривается в конструкции котла-утилизатора?
3. Отличительная особенность котлов-утилизаторов.
4. Основные конструктивные элементы котлов-утилизаторов.
5. Как определяется КПД тепло утилизационной установки?
6. Какая температура отходящих газов после котла? Как определили?
7. Какие виды теплообмена рассчитывали при выполнении теплового расчета?
8. Как учитывалось излучение газового потока?
9. Как определили паропроизводительность котла-утилизатора?
10. Какую конструкцию котла-утилизатора выбрали? Как это отображается в маркировке котла?

### 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	Составление тепловых балансов энерготехнологических установок (ПК-2.3.)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. С какой целью составляются тепловые балансы энерготехнологических установок?</li> <li>2. Как рассчитать расход топлива для ведения технологического процесса?</li> <li>3. Что является неизвестной величиной в системе уравнений теплового баланса?</li> <li>4. Какими способами выполняется решение системы уравнений?</li> <li>5. Почему тепловому расчету установки должен предшествовать материальный расчет?</li> </ol>
2	Подбор и расчет котла-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какая эффективность использования тепловой энергии в</li> </ol>

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
	утилизатора КУ-60 в теплотехнологическую схему металлургического производства (ПК-2.3.)	<p>металлургических печах?</p> <p>2. Какая температура отходящих газов после ВТУ металлургического производства?</p> <p>3. Как можно представить энерготехнологическую комбинированную схему в металлургическом производстве?</p> <p>4. Как можно использовать тепло отходящих газов после ВТУ металлургического производства?</p> <p>5. Какие исходные данные задаются для расчета котла-утилизатора?</p> <p>6. Как определить температуру газового потока после котла-утилизатора?</p> <p>7. Как осуществляется маркировка котлов-утилизаторов?</p> <p>8. Конструктивные особенности котла КУ-60?</p> <p>9. Как предотвращается отложение твердых частиц на поверхностях нагрева котла-утилизатора??</p> <p>10. Как определяется эффективность комбинированной схемы металлургического производства?</p>
3	Разработка схемы ЭТА для нагрева металла и выработки энергетического пара. Тепловой баланс энерготехнологической установки. (ПК-2.3.)	<p>1. Что такое ЭТА? Какие его основные характеристики?</p> <p>2. Как можно осуществить комбинирование тепловых потоков при нагреве металла?</p> <p>3. Как вычисляется утилизированное тепло?</p> <p>4. Какой принцип лежит в основе разработки схемы ЭТА для нагрева металла и выработки энергетического пара?</p> <p>5. Какой аппарат предлагается использовать в схеме для выработки энергетического пара?</p> <p>6. Как определить КПД ЭТА?</p> <p>7. С какой целью составляется тепловой баланс энерготехнологической установки?</p> <p>8. Как определяется эффективность комбинированной схемы для нагрева металла и выработки энергетического пара?</p> <p>9. Какие характеристики присущи энергетическому пару? Где он используется?</p>
4	Тепловой расчет контактного теплообменника с активной насадкой – КТАНа (ПК-2.3.)	<p>1. Приведите классификацию аппаратов, предназначенных для утилизации среднетемпературной теплоты.</p> <p>2. Приведите уравнение для определения теплообменной поверхности.</p> <p>3. Классификация теплообменников.</p> <p>4. Опишите устройство и принцип действия теплообменника с активной насадкой – КТАНа.</p> <p>5. Какие материальные потоки присутствуют в теплообменнике?</p> <p>6. Где находят применение теплообменники с активной насадкой – КТАНЫ?</p> <p>7. При каких условиях определяются характеристики теплоносителя? .</p> <p>8. Как можно определить эффективность применения контактного теплообменника в комбинированных теплотехнологических схемах?</p>
5	Анализ парогазовой установки с впрыском пара (ПК-2.3.)	<p>1. Парогазовые установки с впрыском пара.</p> <p>2. Тепловая схема ПГУ ВП открытого типа.</p> <p>3. Термодинамический цикл ПГУ с впрыском пара.</p> <p>4. Изменение КПД газовой турбины при увеличении доли</p>



№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
		впрыскиваемого пара. 5. Тепловая схемы ПГУ со впрыском пара и промежуточным пароперегревателем.

## Практические занятия

### Типовые разноуровневые задачи и задания (ПК-2.3.)

#### Задача

Водяной пар с начальным давлением  $p_1 = 10$  МПа и степенью сухости  $x_1 = 0,9$  поступает в пароперегреватель, где его температура повышается на  $\Delta t$ ; после перегревателя пар изэнтропно расширяется в турбине до давления  $p_2$ . Определить (по  $is$ -диаграмме) количество тепла (на 1 кг пара), подведенное в пароперегревателе, работу цикла Ренкина и степень сухости пара  $x_2$  в конце расширения. Определить также термический КПД цикла и удельный расход пара. Процессы перегрева и расширения пара показать в  $is$ - и  $Ts$ -диаграммах (без масштаба). Изобразить схему простейшей паросиловой установки и дать ее краткое описание. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы

Таблица

Числовые данные к задаче

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Изменение температуры в пароперегревателе $\Delta t$ , °С	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Давление пара после турбины $p_2$ , кПа	3,5	4,0	4,5	3,5	4,5	4,0	4,5	3,5	4,0	3,5

#### Задача

Найдите эксергетический КПД теплового насоса, использующего теплоту сточных вод с температурой 20 °С для подогрева воды, идущее на горячее водоснабжение, до температуры 55 °С. Коэффициент трансформации теплоты 3,5. Температура окружающей среды 5 °С.

#### Задача

Определите часовую экономию условного топлива при уменьшении температуры уходящих газов от 190 до 130 °С для котла, работающего на природном газе при следующих условиях: тепловая мощность котла 50 МВт, КПД котла брутто  $\eta_{к.бр} = 79\%$ , объем дымовых газов  $V_{ух} = 11,2$  м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость дымовых газов  $C_{ух} = 1,34$  кДж/кг·К. Определить величину экономического эффекта в рублях в час при цене газа 5000 руб./1000 м<sup>3</sup> без НДС.

#### Задача

Сравните эксергетический КПД двух теплообменных аппаратов, используемых для подогрева воды от 70 до 90 °С с использованием теплоты дымовых газов после ВТУ. В первом из них температура дымовых газов на входе в аппаратах составляет 460 °С, а на выходе из него - 340 °С. Во втором аппарате температуры дымовых газов на входе и выходе равны - 260 и 110 °С

### Задача

Определить количество теплоты, отдаваемое уходящими газами котельной водяному экономайзеру (утилизатору) для получения горячей воды. Если температура газов на выходе из экономайзера 200°С, температура газов на входе в экономайзер 310°С, коэффициент избытка воздуха за экономайзером  $\alpha = 1,4$ . Среднюю теплоемкость газов принять равной 1,415 кДж/м<sup>3</sup> К, расчетный расход топлива одного котла составляет 0,25 кг/с. В котельной установлено 2 одинаковых котла, работающих на Донецком угле марки Д..

### Задача

Определить количество использованной теплоты ВЭР при использовании выработанной теплоты в виде пара в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов трех промышленных печей. Температура отходящих газов из печей 700°С. Температура газов на выходе из котла- 200°С, коэффициент избытка воздуха за котлом-утилизатором  $\alpha = 1,3$ . Расчетный расход топлива трех печей составляет 0,05 м<sup>3</sup> /с. Коэффициент, учитывающий несоответствие расчета и числа часов работы котла-утилизатора и печей  $\beta=1$ , коэффициент потерь теплоты котла-утилизатора в окружающую среду  $\delta=0,1$  и коэффициент утилизации ВЭР  $\zeta=0,75$ . Печи работают на природном газе Ставропольского месторождения

## 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-2.3.</b> Разрабатывает проектные решения для комбинированных энерготехнологических 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 оценки комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков;	Знает основные закономерности, соотношения, принципы оценки комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков;	Знает основные закономерности, соотношения, принципы оценки комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков; ; их интерпретирует и использует	Знает основные закономерности, соотношения, принципы оценки комбинированного энерготехнологического использования материальных и тепловых потоков; ; может самостоятельно их вывести, 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	Выполняет поясняющие схемы и рисунки небрежно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы корректно и	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и ак-

	ми, рисунками и примерами	и с ошибками	понятно	куратно, 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 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
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 проектор, переносной экран, ноутбук

### **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.

1. Шубин, В.И. Энергосбережение и охрана окружающей среды при производстве цемента / В.И. Шубин, Л.Н. Гриневич и др. - М.: НИИЦЕМЕНТ, 2006. - 55 с.

2. 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.

3. Кубин, М. Сжигание твердого топлива в кипящем слое / Кубин М. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 144 с.

4. Тодес, СМ. Аппараты с кипящим зернистым слоем / Тодес СМ., Цитович СБ. - Д.: Химия, 1981. -296 с.

5. Маршак, Ю.А. Топочные устройства с вертикальными циклонными камерами / Маршак Ю.А. - М.: Энергия, 1966. - 320 с.

6. 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>
6. <http://www.iprbookshop.ru/33625.html>