



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Института теплоэнергетики

_____ С.О.Гапоненко

« 23 » _____ 01 _____ 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.20.01 Котельные установки и парогенераторы

Направление
подготовки

13.03.03 Энергетическое машиностроение

Направленность(и)*
(профиль(и))

Производство и эксплуатация газовых и паровых
турбин

Квалификация

Бакалавр

г. Казань, 2024

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч. степень, уч. звание	ФИО разработчика
ЭМС	Доцент, к.т.н.	Савина М.В.
ЭМС	Зав.каф., д.т.н., доц.	Мингалеева Г.Р.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	ЭМС	12.01.2024	6	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	ЭМС	12.01.2024	6	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	Учебно-методический совет ИТЭ	23.01.2024	5	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.
Одобрена	Ученый совет ИТЭ	23.01.2024	5	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)

Целью освоения дисциплины «Котельные установки и парогенераторы» является формирование знаний в области конструктивного устройства котельных установок и парогенераторов тепловых электростанций и котельных, основных принципов их работы и режимов эксплуатации.

Задачами дисциплины являются: формирование практических навыков расчета и проектирования котлоагрегатов в целом и его отдельных элементов (топочной камеры, поверхностей нагрева и т.д.), проведения теплотехнических испытаний котлоагрегатов, расчета характеристик вспомогательного оборудования и систем котлоагрегатов.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ОПК-4 Способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах и установках	ОПК-4.2 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и тепломассообмена, применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Теоретические основы теплотехники».

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Тепловые и атомные электрические станции».

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семе
			стр 5
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	6	216	216
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	117	117
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	2,5	84	84
Лекции	1,0	34	34
Практические (семинарские) занятия	1,0	34	34
Лабораторные работы	0,5	16	16
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	3,0	96	96
Проработка учебного материала	1,0	24	24
Курсовой проект	0	0	0
Курсовая работа	1,0	36	36
Подготовка к промежуточной аттестации	1,0	36	36

Промежуточная аттестация:

Э

-

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1.Общее понятие о котельной установке. Энергетическое топливо. Подготовка топлива к сжиганию	18	2		4	7	ТК1	ОПК-4.2.3
Раздел 2. Теория горения. Тепловой и материальный баланс отлоагрегата. Анализ потерь в котле. Газовоздушный тракт котла.	26	6	4	4	7	ТК1	ОПК-4.2.3, ОПК-4.2.У
Раздел 3.Теплообмен в котлоагрегате. Тепловой расчет котлоагрегата. Тепловые схемы и компоновка котлоагрегата. Несущая конструкция котла.	30	6	4	8	7	ТК2	ОПК-4.2.В
Раздел 4.Способы сжигания топлива в котле. Топочные камеры котлов. Горелочные устройства. Системы золошлакоудаления.	26	4	2	8	7	ТК2	ОПК-4.2.3
Раздел 5.Гидродинамика котлоагрегата. Температурный режим поверхностей нагрева котла.	22	4		6	8	ТК2	ОПК-4.2.3 ОПК-4.2.В
Раздел 6. Поверхности	22	4	2	4	8	ТК3	ОПК-4.2.У ОПК-4.2.В

нагрева котлоагрегата. Методы регулирования температуры перегретого пара.							
Раздел 7. Водные режимы. Сепарация влаги из пара (чистота пара). Ступенчатое испарение.	18	4	2		8	ТКЗ	ОПК-4.2.3
Раздел 8. Эксплуатация котлоагрегатов.	18	4	2		8	ТКЗ	ОПК-4.3
Экзамен					36		ОПК-4.2.3, ОПК-4.2.У, ОПК-4.2.В,
ИТОГО	180	34	16	34	96		

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Общее понятие о котельной установке. Энергетическое топливо. Подготовка топлива к сжиганию.

Тема 1.1. Общее понятие о котельной установке.

Основные понятия и определения. Назначение котельной установки. Роль котлоагрегатов в производстве тепловой и электрической энергии в энергетической отрасли России в целом. Место и функциональное назначение котельной установки в тепловой схеме электростанции. Принцип действия котельной установки. Классификация котлоагрегатов, их достоинства и недостатки. Основные составляющие котлоагрегата и котельной установки в целом. Заводы-изготовители котлоагрегатов. Маркировка (обозначение) котлоагрегатов по ГОСТ и заводская маркировка.

Тема 1.2. Энергетическое топливо

Виды энергетического топлива. Твердое топливо: классификация, технические характеристики и маркировка. Жидкое топливо: классификация, технические характеристики, обозначение. Газообразное топливо: классификация, основные свойства. Энергетическая характеристика топлив. Приведенные характеристики топлива. Понятие об условном топливе. Нетрадиционные и перспективные энергетические топлива.

Тема 1.2. Подготовка топлива к сжиганию.

Системы подготовки твердого топлива к сжиганию: классификация, технологическая схема, основное оборудование, особенности подготовки угля к сжиганию. Достоинства и недостатки каждой схемы, и ее применение. Характеристики угольной пыли, кускового угля. Оптимальная степень размола и ее влияние на качество горения угля. Система подготовки к сжиганию мазута: технологическая схема, основное оборудование, особенности подготовки мазута к сжиганию. Система подготовки к сжиганию газа (ГРП): технологическая схема,

основное оборудование, особенности при подготовке газа.

Раздел 2. Теория горения. Тепловой и материальный баланс котлоагрегата. Анализ потерь в котле. Газовоздушный тракт котла.

Тема 2.1. Теория горения

Основы кинетики химических реакций. Закон Аррениуса. Тепловое самовоспламенение топлива. Механизм горения газового топлива. Механизм горения жидкого топлива. Механизм горения твердого топлива. Кинетическая и диффузионная зоны горения. Воспламенение топливно-воздушной смеси. Фронт горения.

Тема 2.2. Тепловой и материальный баланс котлоагрегата.

Теоретические объемы образованных продуктов сгорания и их состав. Избыток воздуха в газоходе котла. Воздушный баланс котла. Действительные объемы продуктов сгорания. Материальный баланс котла. Токсичность продуктов сгорания. Полезно используемое тепло в котлоагрегате. Тепловой баланс котельного агрегата (прямой и обратный баланс).

Тема 2.3. Анализ потерь в котле

Виды потерь в котлоагрегате и их анализ. Коэффициент полезного действия котельного агрегата (КПД брутто) и котельной установки (КПД нетто). Определение расхода топлива в котельном агрегате.

Тема 2.4. Газовоздушный тракт котла

Аэродинамический расчет: задачи и основные уравнения. Тягодутьевая установка котлоагрегата.

Раздел 3. Теплообмен в котлоагрегате. Тепловой расчет котлоагрегата. Тепловые схемы и компоновка котлоагрегата. Несущая конструкция котла.

Тема 3.1. Теплообмен в котлоагрегате

Теплообмен в поверхностях нагрева парового котла.

Тема 3.2. Тепловой расчет котлоагрегата

Тепловой расчет котла: задачи и методы, основные уравнения. Конструктивный тепловой расчет. Поверочный тепловой расчет. Место теплового расчета при конструировании котлоагрегата.

Тема 3.3. Тепловые схемы и компоновка котлоагрегата

Компоновка котлоагрегата. Тепловая схема котлоагрегата. Выбор основных размеров котла. Компоновка отдельных поверхностей нагрева. Последовательность расположения поверхностей нагрева по ходу движения рабочего тела и теплоносителя. Особенности тепловой схемы прямоточных и барабанных котлов.

Тема 3.4. Несущая конструкция котла

Спецматериалы в теплоэнергетике. Металл котлоагрегатов. Прочностной расчет.

Раздел 4. Способы сжигания топлива в котле. Топочные камеры котлов. Горелочные устройства. Системы золошлакоудаления.

Тема 4.1. Способы сжигания топлива в котле.

Основные способы сжигания топлива в котле: слоевое, факельное и вихревое (в циклоне).

Тема 4.2. Топочные камеры котлов.

Основные характеристики камерных топок. Основные типы топочных устройств для сжигания твердого топлива. Топочные устройства для сжигания газового и жидкого (мазут) топлива.

Тема 4.3. Горелочные устройства.

Горелочные устройства для подготовки к сжиганию твердого топлива: классификация, принцип действия, размещение в топочной камере, конструкция, применение. Горелочные устройства для сжигания газового и жидкого топлива: классификация, принцип действия, конструкции и основные характеристики. Методы регулирования и интенсификации процесса горения (подсветка факела и т.д.). Методы регулирования процесса горения с целью снижения вредных выбросов в атмосферу.

Тема 4.4. Системы золошлакоудаления.

Типы систем золошлакоудаления, области их применения.

Раздел 5. Гидродинамика котлоагрегата. Температурный режим поверхностей нагрева котла.

Тема 5.1. Гидродинамика котлоагрегата.

Режимы движения пароводяной смеси. Основные характеристики двухфазного потока (пароводяной смеси). Гидравлические сопротивления в циркуляционной системе. Гидродинамика парогенераторов с естественной циркуляцией. Гидродинамика прямоточных котлов. Гидродинамика агрегатов с многократной циркуляцией.

Тема 5.2. Температурный режим поверхностей нагрева котла.

Тепловая и гидравлическая разверка. Влияние коллекторов на распределение рабочей среды по трубам. Кризисы теплообмена в парообразующих трубах. Температурный режим по длине и периметру канала. Влияние отложений на температурный режим. Гидравлический расчет: задачи и основные уравнения.

Раздел 6. Поверхности нагрева котлоагрегата. Методы регулирования температуры перегретого пара.

Тема 6.1. Поверхности нагрева котлоагрегата.

Высокотемпературные поверхности нагрева. Парообразующие поверхности нагрева. Тепловосприятие парообразующих поверхностей нагрева и их компоновка. Методы повышения надежности парообразующих поверхностей и их конструкция. Футерование экранов топки котла. Высокотемпературная коррозия. Шлакование парообразующих поверхностей. Условия работы металла поверхностей нагрева и их оптимизация. Пароперегревательные поверхности нагрева котла. Методы регулирования температуры перегретого пара. Классификация пароперегревателей (ПП). Радиационные ПП, ширмовые (полурадиационные) ПП, конвективные ПП: конструкция, крепление и расположение. Условия работы ПП и методы повышения надежности. Компоновка ПП.

Тема 6.2. Методы регулирования температуры перегретого пара.

Методы регулирования температуры перегретого пара: паровое и газовое регулирование. Поверхностные пароохладители. Впрыск воды в пар. Паро-паровые теплообменники (ППТО). Рециркуляция продуктов

сгорания. Изменение положения факела в топке. Байпасирование продуктов сгорания. Шлакование внешней поверхности ПП. Ванадиевая коррозия. Низкотемпературные поверхности нагрева. Классификация низкотемпературных поверхностей. Компоновка низкотемпературных поверхностей нагрева. Экономайзер: классификация, назначение, принцип работы, конструкция, крепление и расположение в газоходе котла. Воздухоподогреватель (ВП): классификация, назначение, принцип работы, конструкция, крепление, условия работы и расположение в газоходе котла. Нагрев воздуха продуктами сгорания с применением промежуточного теплоносителя. Комбинированный нагрев воздуха. Низкотемпературная коррозия. Методы повышения коррозионной стойкости ВП. Механизм образования отложений на низкотемпературных поверхностях нагрева. Абразивный износ конвективных поверхностей нагрева. Основы технико – экономических расчетов при проектировании низкотемпературных поверхностей нагрева. Интенсификация теплообмена в низкотемпературных поверхностях нагрева.

Раздел 7. Водные режимы. Сепарация влаги из пара (чистота пара). Ступенчатое испарение.

Тема 7.1. Водные режимы.

Загрязнение питательной воды и влияние этого на работу оборудования ТЭС. Растворимость примесей и закономерности образования отложений. Переход примесей из воды в насыщенный пар. Методы вывода примесей из цикла. Водный режим прямоточных паровых котлов. Водный режим барабанных паровых котлов. Современные технологии борьбы с вредными примесями в питательной (котловой) воде котлоагрегата.

Тема 7.2. Сепарация влаги из пара (чистота пара). Ступенчатое испарение.

Методы получения чистого пара. Сепарация влаги из пара. Барботаж. Сепарирующие и разделительные устройства. Ступенчатое испарение котлов воды. Паропромывочные устройства.

Раздел 8. Эксплуатация котлоагрегатов.

Тема 8.1. Эксплуатационные режимы и показатели.

Стационарный и нестационарный режимы в диапазоне допустимых нагрузок. Пусковые схемы блоков. Режимы останова и сброса нагрузки котла. Режимы растопки котла и пуска блока. Экономическое распределение нагрузки между параллельно работающими ПГ. Загрязнение окружающей среды при эксплуатации парогенераторов. Инженерные методы борьбы с вредными отходами и выбросами в окружающую среду.

3.4. Тематический план практических занятий

1. Определение характеристик топлива (2 часа).
2. Составление теплового баланса котлоагрегата. Определение КПД и расхода топлива котла (4 часа).
3. Тепловой расчет котельного агрегата: назначение, последовательность, основные уравнения. Влияние характеристик топлива на конструкцию котлоагрегата (4 часа).

4. Расчет теплообмена в топке котла (2 часа).
5. Конструктивный и поверочный расчет поверхностей нагрева котла (2 часа).
6. Расчеты оптимальных значений температуры рабочего тела и теплоносителя в низкотемпературных поверхностях нагрева котла с целью предотвращения коррозионных процессов (4 часа).

3.5. Тематический план лабораторных работ

1. Определение присосов воздуха в котел и избытков воздуха. Энтальпия продуктов сгорания. Расчет $H-\theta$ таблицы (2 часа).
2. Расчет теоретических объемов воздуха и газов и таблицы объемов (2 часа).
3. Определение тепловых потерь в котле. Определение КПД и расхода топлива на котел (2 часа).
4. Изучение конструкции заданного котла (2 часа).
5. Разработка схемы и описания котла. (2 часа).
6. Конструкции и компоновки паровых котлов. (2 часа).
7. Ступенчатое испарение, схемы организации, конструктивные решения на котлах.
8. Эксплуатация паротурбинных установок (2 часа).

3.6. Курсовая работа

Поверочный тепловой расчет топочной камеры котельного агрегата (по вариантам)

4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ОПК-4	ОПК-4.2	<p>знать:</p> <p>основные законы термодинамики и тепломассообмена, порядок расчета элементов теплотехнических установок и систем</p>	<p>знает основные законы термодинамики и тепломассообмена и порядок</p>	<p>знает основные законы термодинамики и тепломассообмена и порядок</p>	<p>знает основные законы термодинамики и тепломассообмена и порядок</p>	<p>не знает основные законы термодинамики и тепломассообмена и порядок</p>

			расчета элементов теплотехнических установок и систем в полном объеме	расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает незначительные ошибки	расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает грубые ошибки	расчета элементов теплотехнических установок и систем
		уметь:				
	применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем	умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем	умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает незначительные ошибки	умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает грубые ошибки	не умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем	
		владеть:				
	навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем	владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем в полном объеме	владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает незначительные ошибки	владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает грубые ошибки	не владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем	

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедраработчика.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Учебно-методическое обеспечение

5.1.1. Основная литература

1. Трухний А.Д., Основы современной энергетики Том 1. Современная теплоэнергетика : учебник для вузов : в 2 т. / Трухний А.Д. - М. : Издательский дом МЭИ, 2019. - ISBN 978-5-383-01337-3 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013373.html> (дата обращения: 10.01.2020). -Режим доступа : по подписке.

2. Жихар Г.И., Котельные установки ТЭС : теплотехнические расчеты : учебное пособие / Г.И. Жихар - Минск : Выш. шк., 2017. - 224 с. - ISBN 978-985-06-2883-1 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789850628831.html> (дата обращения: 10.01.2020). -Режим доступа : по подписке.

3. Водно-химические режимы ТЭС и АЭС : учебное пособие / В. Н. Воронов, Т. И. Петрова ; под ред. А. П. Пильщикова. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. - 240 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011294.html>. - Текст : электронный.

4. Лебедев, В. М. Тепловой расчет котельных агрегатов средней паропроизводительности : учебное пособие для вузов / В. М. Лебедев, С. В. Приходько. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 212 с. — ISBN 978-5-507-45002-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/255101>.

5. Тарасюк, В.М. Эксплуатация котлов : учебное пособие / В.М. Тарасюк ; под редакцией Б. А. Соколова. — Москва : ЭНАС, 2015. — 272 с. — ISBN 978-5-4248-0076-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/104553>(дата обращения: 10.01.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Аэродинамический расчет котельных установок. Нормативный метод [Текст] : нормативно-технический материал / под ред. С. И. Мочана. - 3-е изд. - Л. : Энергия, 1977. - 256 с.

7. Теплоэнергетика и теплотехника : справочник / под общ.ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. - 4-е изд., стереотип. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. - Текст : электронный. Кн. 3 : Тепловые и атомные электрические станции / ред.: А. В. Клименко, В. М. Зорин. - 2017. - 648 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011706.html>.

5.1.2.Дополнительная литература

1. Котельные установки с циклонными предтопками: монография / А. Н. Штым, К. А. Штым, Е. Ю. Дорогов. - Владивосток: Издат. дом Дальневост. федерал.ун-т, 2012. - 421 с.

2. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: справочник. В 3-х кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. Кн.3. - . - М.:Теплотехник, 2004. - 592 с.

3. Александров А.А., Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики / Александров А.А. - М. : Издательский дом МЭИ, 2019. - ISBN 978-5-383-01356-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL :<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013564.html> (дата обращения: 10.01.2020). -Режим доступа : по подписке.

4. Назмеев Ю.Г. Системы золошлакоудаления ТЭС [Текст] : научное издание / Ю. Г. Назмеев. - М. : МЭИ, 2002. - 572 с.

5. Назмеев Ю.Г. Системы топливоподачи и пылеприготовления ТЭС: Справочное пособие/ Ю.Г. Назмеев, Г.Р. Мингалеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2005. – 480с.

6. Котельные установки и их эксплуатация: учебник / Б. А. Соколов. - М.: Академия, 2008. - 432 с.

7. Теплотехнические испытания котельных установок : производственно-практическое издание / В. И. Трёмбовля, Е. Д. Фингер, А. А. Авдеева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 416 с. : ил. - ISBN 5-283-00137-7. - Текст : непосредственный.

8. Снижение выбросов оксидов азота котлами ТЭС при сжигании органического топлива [Текст] : производственно-практическое издание / В. Р. Котлер. - М. : ВИНТИ, 1987. - 92 с.

9. Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие для техникумов / Р. И. Эстеркин. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 280 с.

10. Компоновка и тепловой расчет парового котла [Текст] : учебное пособие для вузов / Ю. М. Липов, Ю. Ф. Самойлов, Т. В. Виленский. - М. : Энергоатомиздат, 1988. - 208 с.

11. Белкин, А. П. Диагностика теплоэнергетического оборудования / А. П. Белкин, О. А. Степанов. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-507-44499-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/230378>.

5.2. Информационное обеспечение

5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1.	Электронная библиотечная система «Лань»	http://e.lanbook.com
2.	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	https://ibooks.ru/
3.	Таганрогский котлостроительный завод"Красный	http://www.tkz.su/

	котельщик"	
4.	Барнаульский котельный завод	https://bkzn.ru/
5.	Дорогобужкотломаш. Котлы и котельные	http://www.dkm.ru/
6.	ЗиО Группа компаний Подольский машиностроительный завод	http://www.podolskmash.ru/

5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1.	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования РФ	https://www.minobrnauki.gov.ru/	https://www.minobrnauki.gov.ru/
2.	Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации	https://minenergo.gov.ru/opendata	https://minenergo.gov.ru/opendata
3.	Российская национальная библиотека	http://nlr.ru/	http://nlr.ru/
4.	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/	http://window.edu.ru/
5.	КиберЛенинка	https://cyberleninka.ru/	https://cyberleninka.ru/
6.	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru	http://elibrary.ru

5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (Starter)	Пользовательская операционная система	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от 28.11.2011 Неискл. право. Бессрочно
2	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса –	Антивирусное программное обеспечение	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №37/18 от 26.02.2018

	Стандартный Russian Edition. 50-99 Node 1 year Educational Renewal License		Неискл. право. До 26.03.2019
3	Информационно-поисковая система «Ваш консультант»	Справочно-правовая система, используемая бухгалтерами, юристами и др. специалистами	ООО "Ваш Консультант" №1434/РДД от 01.09.2018 Неискл. право . Бессрочно
4	Office Professional Plus 2007 Windows32 Russian DiskKit MVL CD	Пакет программных продуктов содержащий в себе необходимые офисные программы	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №225/10 от 28.01.2010 Неискл. право. Бессрочно

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа Д-517	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Д514	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
Лабораторные работы	Учебная лаборатория «ЭОО «Bosch»	Специализированное лабораторное оборудование по профилю лаборатории: доска аудиторная (2 шт.), бак-водонагреватель Logalux LT135/1, мембранный расширительный бак ГВС 12, бак-водонагреватель Logalux SU160, мембранный расширительный бак ГВС 12/10, дымоход общий для G234-38WS, G20 и G125-25 SE, котел Logano G125-25 SE (дизельная горелка), мембранный расширительный бак 35/3, котел Logano G215-78 WS (газовая горелка), котел Logano G234-38 WS, G20,

		<p>мембранный расширительный бак 35/3, котел настенный Logamax U052-24, радиаторы VK-Profil 22/300/700 (7шт.), бак-водонагреватель Logalux S120/5, котел настенный Term 8000S (2шт.), котел настенный Logamaxplus GB 162-65 (2шт.), газовый проточный водонагреватель WTD27 AME (2шт), стендовая установка по измерению расхода жидкости и тепла, котел настенный Condens 7000W, котел настенный Logamaxplus GB 72-24K, котел настенный ZBR42-3, бивалентный бак Logalux200/5, стенд «Радиатор отопления Buderus», плакаты «Современные образцы отопительной техники» (13шт.), компьютер в комплекте с монитором (1шт.), проектор, диаскоп, экран</p>
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www//kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются

следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования.

Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными

возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф.реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

*Приложение к
рабочей
программе дисциплины*



КГУУ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГУУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Б1.О.20.01 Котельные установки и парогенераторы
(Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки _____ 13.03.03 Энергетическое машиностроение
(Код и наименование направления подготовки)

Квалификация _____ Бакалавр
(Бакалавр / Магистр)

г. Казань, 2024

Оценочные материалы по дисциплине Котельные установки и парогенераторы, предназначены для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

1. Технологическая карта

Семестр 5

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
Раздел 1. «Общее понятие о котельной установке. Энергетическое топливо. Подготовка топлива к сжиганию»	ТК1	15	0-15					15-30	15-30
Тест		6							
Практическое задание		1							
Раздел 2. «Теория горения. Тепловой и материальный баланс котлоагрегата. Анализ потерь в котле. Газовоздушный тракт котла»	ТК1								
Тест		6							
Защита лабораторной работы 1		1							
Практическое задание		1							
Раздел 3. «Теплообмен в котлоагрегате. Тепловой расчет котлоагрегата. Тепловые схемы и компоновка котлоагрегата. Несущая конструкция котла. Спецматериалы в котлостроении»	ТК2			15	0-15			15-30	15-30
Тест				2					
Защита лабораторной работы 2				1					
Практическое задание				2					

Раздел 4. «Способы сжигания топлива в котле. Топочные камеры котлов. Горелочные устройства. Системы золошлакоудаления»	ТК2								
Тест				3					
Практическое задание				2					
Раздел 5. «Гидродинамика котлоагрегата. Температурный режим поверхностей нагрева котла»									
Тест				3					
Практическое задание				2					
Раздел 6. «Поверхности нагрева котлоагрегата. Методы регулирования температуры перегретого пара»	ТК3						25	0-15	25-40 25-40
Тест						15			
Защита лабораторной работы 3						1			
Практическое задание						7			
Раздел 7. «Водные режимы. Сепарация влаги из пара (чистота пара). Ступенчатое испарение»									
Тест									
Защита лабораторной работы 4						1			
Раздел 8. «Эксплуатация котлоагрегатов»									
Тест									
Защита лабораторной работы 5						1			
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен, КП, КР)	ОМ								0-45
Задание промежуточной аттестации									0-15
В письменной форме по билетам									0-30

2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			

			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено			
ОПК-4	ОПК-4.2	ЗНАТЬ:				
		основные законы термодинамики и теплообмена, порядок расчета элементов теплотехнических установок и систем	знает основные законы термодинамики и теплообмена и порядок расчета элементов теплотехнических установок и систем в полном объеме	знает основные законы термодинамики и теплообмена и порядок расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает незначительные ошибки	знает основные законы термодинамики и теплообмена и порядок расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает грубые ошибки	не знает основные законы термодинамики и теплообмена и порядок расчета элементов теплотехнических установок и систем
		УМЕТЬ:				
		применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем	умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем	умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает незначительные ошибки	умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает грубые ошибки	не умеет применять основные законы термодинамики и теплообмена для расчета элементов теплотехнических установок и систем
		ВЛАДЕТЬ:				
		навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем	владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем в полном объеме	владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает незначительные ошибки	владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем, допускает грубые ошибки	не владеет навыками расчета элементов теплотехнических установок и систем

Оценка «отлично» выставляется за выполнение практических и лабораторных работ в семестре; тестовых заданий; глубокое понимание методов расчета котельных установок, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание);

Оценка «хорошо» выставляется за выполнение практических и лабораторных работ в семестре; тестовых заданий; понимание методов

расчета котельных установок, ответы на вопросы билета (теоретическое или практическое задание);

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение практических и лабораторных работ в семестре и тестовых заданий;

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение практических и лабораторных работ в семестре и тестовых заданий.

3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Отчет по лабораторной работе (ОЛР)	Выполнение лабораторной работы, обработка результатов испытаний, измерений, эксперимента. Оформление отчета, защита результатов лабораторной работы по отчету	Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы, перечень требований к отчету
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Тест (Тест)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Комплект тестовых заданий

4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ОПК-4.2 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и теплообмена, применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем.

Отчет по лабораторной работе (ОЛР)

Вопросы к отчету по лабораторной работе 1 «Технический анализ твердых топлив»:

1. Перечислите основные теплотехнические характеристики твердых топлив.

2. Опишите кратко методику определения влажности топлива.
3. Опишите кратко методику определения зольности топлива.
4. Опишите кратко методику определения выхода летучих веществ топлива.
5. Перечислите основные марки твердых топлив.

Практическое задание (ПЗ)

Типовые задачи практических заданий:

1. Определите состав горючей массы угля, если известен состав рабочей массы.
2. В мельнице-вентиляторе подсушивается уголь с известной рабочей массой. Определите состав рабочей массы подсушенного топлива, если известно, что влажность топлива после подсушки $W_p^2 = 15\%$.
3. Для угля с известным элементарным составом определите Q_H^c , Q_H^r , Q_B^p , если низшая теплота сгорания рабочей массы $Q_H^p = 23990$ кДж/кг.
4. Определите низшую теплоту сгорания сухого природного газа известного состава. При расчете используйте данные теплоты сгорания Q_H^c , кДж/м³ газообразного топлива.
5. Определите низшую и высшую теплоту сгорания рабочей массы сланцев, если известны данные Q_H^r, H^p, A^p, W^p и $(CO_2)_K^p$.
6. Определите высшую теплоту сгорания рабочей массы, приведенные характеристики (влажность, зольность, сернистость) и тепловой эквивалент угля с известным составом рабочей массы.
7. Определите объем сухих газов и коэффициент избытка воздуха при полном сгорании природного газа известного состава при содержании в продуктах сгорания $RO_2 = 16,0\%$ и $O_2 = 4,0\%$.
8. Определите состав продуктов сгорания в уходящих газах (V_{RO_2} , $V_{H_2O}^0$, V_B^0 , V_{H_2O} , V_{H_2} , V_B) при сжигании угля с известной рабочей массой при $\alpha = 1$ и избытке воздуха в уходящих газах $\alpha_{ух} = 1,35$.
9. Определите энтальпию продуктов сгорания на выходе из топки, получаемых при полном сгорании 1 кг высокосернистого мазута известного состава рабочей массы, если температура газов на выходе из топки $\theta_T = 1100^\circ\text{C}$. Коэффициент избытка воздуха в топке примите $\alpha_T = 1,15$.
10. Определите энтальпию теоретического объема воздуха при сжигании 1 кг угля 1 вида и 1 кг угля 2 вида при температуре 350°C . Энтальпии газов и воздуха при температурах 200 и 400°C (при $0,1$ МПа) принять: при $\theta = 200^\circ\text{C}$ для угля 1 $H_B^0 = 1412$ кДж/кг, для угля 2 $H_B^0 = 965$ кДж/кг; при $\theta = 400^\circ\text{C}$ для угля 1 $H_B^0 = 2873$ кДж/кг, для угля 2 $H_B^0 = 1962$ кДж/кг.

Тест (Тест)

Вопрос	Варианты ответа
Прямоточные котлы имеют:	принудительный насос
	барабан
	опускные трубы
	НРЧ, СРЧ, ВРЧ
Первичный воздух используется	для подсушки мазута
	для подсушки при размоле и транспортировки твердого топлива
	для подачи в топку
	для подогрева холодного воздуха в калориферах
Воздухоподогреватель является	конвективной высокотемпературной поверхностью нагрева
	радиационной поверхностью нагрева
	конвективной низкотемпературной поверхностью нагрева
	полурадиационной поверхностью нагрева
Непрерывная продувка в барабанном котле необходима	для очистки воздухом барабана
	для удаления влаги из насыщенного пара в барабане котла
	для снижения солесодержания в котловой воде
	для перераспределения вредных примесей в котловой воде
Абразивный износ поверхностей котла имеет место	в ширмовых поверхностях
	в конвективных пароперегревателях
	в экономайзерах и воздухоподогревателях
	на стенах топочной камеры

Для текущего контроля ТК2:

Проверяемая компетенция: ОПК-4.2 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и тепломассообмена, применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

Отчет по лабораторной работе (ОЛР)

Вопросы к отчету по лабораторной работе 2 «Определение оптимального режима работы парового котла»:

1. Дайте определение коэффициенту избытка воздуха уходящих газов.
2. Как влияет коэффициент избытка воздуха на объем продуктов сгорания?
3. Опишите влияние паропроизводительности на потери теплоты.
4. Опишите влияние паропроизводительности на температуру уходящих газов и тепловосприятие котла.
5. Как изменяется КПД при разной нагрузке котла?

Практическое задание (ПЗ)

Типовые задачи практических заданий:

1. Определите располагаемую теплоту сланцев при известных температуре холодного воздуха, теплоте сгорания Q_H^P , содержании диоксида углерода CO_2^K .
2. Определите, насколько изменится располагаемая теплота мазута при увеличении его подогрева с $t_{ТЛ1} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_{ТЛ2} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Определите КПД и оцените тепловые потери котла паропроизводительностью $D = 10$ т/ч при известных параметрах пара, часовом расходе топлива, температуре питательной воды, теплоте сгорания топлива Q_H^P . Величину продувки примите равной 0.

4. Определите тепловосприятие котла $Q_{пол}$ при наличии отбора пара на собственные нужды. Расход пара на собственные нужды примите из промежуточного пароперегревателя в количестве 40 кг/с с параметрами $t_{пн} = 450$ °С, $p = 2,55$ МПа.

5. Определите, насколько изменится располагаемая теплота жидкого топлива при увеличении предварительного подогрева воздуха в калорифере с 40 до 100 °С. Отношение количества воздуха на входе в котел к теоретическому $\beta' = 1,18$; энтальпия теоретически необходимого объема воздуха при 100 °С $H_{х.в}^0 = 1390$ кДж/кг.

6. Определите располагаемую теплоту фрезерного торфа с известной Q_H^P , а также энтальпию уходящих газов при изменении влажности W с 50 до 40 % и известных значениях температуры холодного воздуха, предварительного подогрева воздуха на входе в воздухоподогреватель, отношения расхода воздуха на входе в воздухоподогреватель к теоретически необходимому, избытка воздуха за котлом, температуры уходящих газов, температуры топлива.

7. Определите располагаемую теплоту угля с известной Q_H^P при заданных значениях температуры холодного воздуха, температуры предварительного подогрева воздуха, отношения количества воздуха на входе в котел к теоретически необходимому. Сушка топлива замкнутая, физической теплотой топлива пренебречь.

8. Определите, насколько меняется Q_p^P угля с известной Q_H^P при изменении температуры предварительного подогрева воздуха с 40 до 80 °С. Примите $\beta' = 1,22$.

9. Определите располагаемую теплоту сланцев при заданных значениях температуры топлива, температуры холодного воздуха, температуры предварительного подогрева воздуха, отношения количества воздуха на входе в воздухоподогреватель к теоретически необходимому и замкнутой сушке топлива. Энтальпия холодного воздуха $H_{х.в}^0 = 96,15$ кДж/кг, энтальпия подогретого воздуха $H_B^0 = 160,25$ кДж/кг, влажность $W^P = 12$ %, $Q_H^P = 9000$ ккал/кг.

10. Определите адиабатную температуру горения топлива в соответствии с предложенным вариантом топлива. Примите в зависимости от топлива его условия сжигания, тип топки (ЖШУ/ТШУ для твердых топлив), температуру горячего воздуха $t_{г.в}$, °С, избыток воздуха за топкой α_T , долю уноса золы $a_{ун}$.

$\Delta\alpha_T = 0$, $\Delta\alpha_{пл} = 0$; котел работает под наддувом, рециркуляция газов отсутствует.

Тест (Тест)

Вопрос	Варианты ответа
Вспомогательным оборудованием котельной установки является	дутьевые вентиляторы, дымососы, питательный насос, дымосос рециркуляции, узел питания
	регенеративный воздухоподогреватель
	питательный насос, деаэрактор, конденсатор, осветлители
	дымосос, ПВД, ПНД, бойлера
Питательной водой называется:	вода на входе в барабан
	подпиточная вода после водоочистки
	вода на входе в экономайзер котла
	вода на выходе из питательного насоса
Экономайзер котла предназначен для:	разделения пароводяной смеси
	перегрева пара
	испарения воды
	нагрева воды до температуры насыщения
Более качественной котловой воды требует	котел-утилизатор
	прямоточный котел
	барабанный котел
	водотрубный котел
Низкотемпературная коррозия - это коррозия, протекающая	в зоне расположения горелок
	в воздухоподогревателе при взаимодействии паров воды с SO_3
	в КПП при взаимодействии стенки трубы с V_2O_5
	в испарительных поверхностях при взаимодействии металла с H_2S при высокой температуре

Для текущего контроля ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ОПК-4.2 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и теплообмена, применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

Отчет по лабораторной работе (ОЛР)

Вопросы к отчету по лабораторной работе 3 «Отопительный котел BuderusLogano U052-24»:

1. Дайте характеристику котлов Buderus
2. Расскажите об устройстве и работе котла Logamax U052-28
3. Чему равны потери с уходящими газами при указанных значениях параметров?
4. Как изменится величина при температуре уходящих газов $=160\text{ }^\circ\text{C}$, температуру холодного воздуха $=26\text{ }^\circ\text{C}$

Вопросы к отчету по лабораторной работе 4 «Отопительный котел BuderusLogano G125»:

1. Дайте характеристику отопительному котлу BuderusLogano G125
2. Расскажите об эксплуатации котла BuderusLogano G125

3. Рассчитать потери теплоты с уходящими газами в % при температуре уходящих газов $=180\text{ }^{\circ}\text{C}$, температуре холодного воздуха $=15\text{ }^{\circ}\text{C}$, коэффициенте избытка воздуха на выходе $=1.05$.

4. Рассчитать КПД котельного агрегата, приняв $=2\%$.

5. Найти расход топлива на котел при тепловой мощности $=30\text{ кВт}$

6. Определить расход воды при этой тепловой мощности котла

Отчет по лабораторной работе (ОЛР)

Вопросы к отчету по лабораторной работе 5 «Отопительный котел BuderusLogano G234»:

1. Дайте характеристику отопительному котлу Logano G234 WS

2. Расскажите об эксплуатации котла Logano G234 WS

3. Чему равна адиабатическая температура горения для Уренгойского газа

4. Сколько итераций понадобилось для вычисления адиабатической температуры с точностью $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Практическое задание (ПЗ)

Типовые задачи практических заданий:

1. Как изменится тепловосприятие радиационного перегревателя при сжигании природного газа вместо мазута. Из аналогичного позонного теплового расчета котла на природном газе получено: температура газов на входе в зону 1371 , на выходе из нее $1238\text{ }^{\circ}\text{C}$, коэффициент излучения топочной среды $\xi_T = 0,7587$, $V_p = 9,764\text{ м}^3/\text{с}$.

2. В последней зоне топочной камеры с размерами: $V_T = 34760\text{ м}^3$, $F_{ст} = 709,2\text{ м}^2$, $h_T = 61,9\text{ м}$, $b_T = 18\text{ м}$, $a_T = 31,96\text{ м}$ расположены 12 топочных ширм высотой 8 и шириной 3,8 м. Определите тепловосприятие ширм, если смывание их продуктами сгорания продольное, температура газов на входе в ширмы 1152 и на выходе из нее $1048\text{ }^{\circ}\text{C}$. Экраны в зоне топочных ширм и сами ширмы выполнены цельносварными из труб $\text{Ø}32$ с шагом 48 мм. Коэффициент теплоотдачи конвекцией в зоне ширм $\alpha_k = 7,15 \cdot 10^{-3}\text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; коэффициенты излучения $\varepsilon = 0,811$ и тепловой эффективности $\psi = 0,4$, $V_p = 126,6\text{ кг}/\text{с}$.

3. Используя данные определите, как изменится тепловосприятие радиационного перегревателя в примере 5.1, если его конструкцию выполнить из сдвоенных U-образных труб $\text{Ø}42$ мм, с шагом 45 мм, радиусом внутренней петли 105 мм, в ленте примите 20 труб. Примите расположение одной петли в зоне 2, второй – в зоне 3 по всему периметру топки, тепловые потоки в зонах $q_{л2} = 235,7$ и $q_{л3} = 157,6\text{ кВт}/\text{м}^2$.

4. Как изменятся коэффициент излучения в ширмовом пароперегревателе, угловой коэффициент и радиационное тепловосприятие из топки при изменении поперечного шага между секциями пароперегревателя с $s_1 = 600$ до $s_1 = 1200$ мм? При выполнении расчетов примите: $\vartheta' = 1212\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$\vartheta'' = 1080^\circ\text{C}$; давление в газоходе $p = 0,1$ МПа; $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,118$; $r_{\text{п}} = 0,257$; высоту секции ширм $h_{\text{ш}} = 9000$ мм; глубину секций $c = 2800$ мм.

5. Как изменится количество лучистой теплоты из топки, воспринятой радиационно-конвективным пароперегревателем, при увеличении высоты ширм с 7,0 до 9,0 м? При решении задачи примите: поперечный шаг между секциями $s_1 = 600$ мм; глубину секций 2,8 м; поверхность входного окна пароперегревателя $174,0$ м² (высота 7,0 м) и $225,3$ м² (высота 9,0 м); поверхности выходного окна $88,8$ м² (высота 7,0 м) и $114,2$ м² (высота 9,0 м); топливо – мазут; $B_{\text{р}} = 19,278$; $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,119$; $r_{\text{п}} = 0,257$; интенсивность теплового потока $q_{\text{л.ш}} = 19,5$ кВт/м²; среднюю температуру газов в пароперегревателе 1160°C ; коэффициент взаимного теплообмена (топка–ширма) $\beta = 0,76$.

6. В паровом котле имеется двухрядный фестон, образованный трубами заднего экрана топочной камеры, ширина которой 18,0 м. Определите расчетные геометрические характеристики фестона, его поверхность нагрева, если задано: диаметр труб 60 мм; толщина стенки 6 мм; расположение труб коридорное с шагами $s_1 = 140$ и $s_2 = 250$ мм; высота труб фестона 6,5 м.

7. При различных глубинах секций радиационно-конвективного пароперегревателя выберите шаг между секциями s_1 , при котором угловой коэффициент входного на выходное $\varphi_{\text{ш}}$ будет равен 0,10. Примите глубину секций 2,0 и 3,0 м.

8. Какова будет поверхность нагрева для прохода пара, эффективная толщина излучающего слоя в радиационно-конвективном пароперегревателе котла паропроизводительностью $D = 186,11$ кг/спри использовании труб различных диаметров: $\varnothing 32$ мм с толщиной стенки 5 мм; $\varnothing 36$ мм с толщиной стенки 6 мм и $\varnothing 38$ мм с толщиной стенки 6 мм? Примите, что при ширине газохода 18000 мм расстояние между секциями равно 720 мм, зазоры между трубами – 3 мм. Поверхность нагрева считайте упрощенно – без учета поверхности дистанционирующих труб; радиусгиба внутренней трубы во всех вариантах примите 135 мм. Количество труб в секции 20 шт., высота секции 7000 мм.

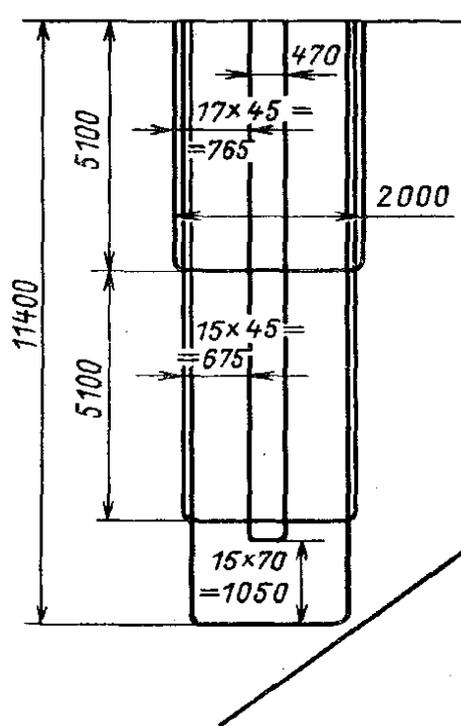


Рис. Размеры секции ширмового пароперегревателя

9. Какие трубы необходимо применить, чтобы уменьшить поверхность нагрева радиационно-конвективного пароперегревателя примерно в 1,5–1,6 раза? Сколько будет секций ширм и каких они будут размеров? В исходном варианте 56 секций глубиной 3800 мм из труб $\varnothing 32$ мм с толщиной стенки 6 мм, радиус гiba внутренней трубы 135 мм. Ширина газохода 31,0 м. Указание: при решении задачи рассмотрите диаметры труб 36, 38, 42 мм с зазором между трубами 3 мм, толщину стенок примите кратной 0,5 мм, выполните условие равно прочности – постоянство отношения толщины стенки к наружному диаметру $\delta/d = \text{const}$.

10. Рассчитайте геометрические характеристики ступени радиационно-конвективного пароперегревателя T-образного профиля котла для блока 800МВт, расположенного в переходном газоходe. Радиационно-конвективный пароперегреватель имеет два хода пара: сначала пар проходит секции в средней части газохода (половина ширины), а затем крайние секции. Общее количество секций по ширине одного газохода 40 шт., каждая секция состоит из 18 труб диаметром 42 мм с толщиной стенки 7 мм, расположенных с продольным шагом $s_2 = 45$ мм. Ширина газохода 30,44 м. Основные размеры секции в одной газохода приведены на рис. 5.10.

Тест (Тест)

Вопрос	Варианты ответа
Ширмовый пароперегреватель воспринимает теплоту:	излучением из топки;
	конвекцией от горячих газов;
	конвекцией и излучением;
	конвекцией от перегретого пара.
Байпасирование продуктов сгорания в газоходе котла-это:	воздушный метод регулирование температуры перегретого пара;
	паровой метод регулирование температуры перегретого пара;
	газовой метод регулирование температуры перегретого пара;
	впрыск собственного конденсата;
Впрыск конденсата в перегретый пар пароперегревателей котла предназначен для:	регулирование температуры пара;
	для испарения воды;
	для нагрева воды до температуры насыщения;
	байпасирования продуктов сгорания;
Гидразинно-аммиачная смесь и тринатрий фосфат добавляются в котельной установке соответственно:	в питательную воду на всасе питательного насоса и в котловую воду в барабане котла;
	в котловую воду в экономайзере и пар в ширме;
	в пароводяную смесь в экранных поверхностях;
	в пароводяную смесь в конвективном пароперегревателе;
Дробеочистка котла предназначена:	для очистки труб ширмовых поверхностей;
	для очистки труб КПП;
	для наружной очистки труб поверхностей нагрева конвективной опускной шахты котла;
	для очистки экранных поверхностей топочной камеры;

Курсовая работа (КР)

Бланк-задание на курсовую работу «Проверочный тепловой расчет топочной камеры котельного агрегата» по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы» содержит следующие пункты:

1. Рассчитать приведенные характеристики топлива

2. Выбрать

- тип мельниц для размола топлив;
- температуру горячего воздуха;
- температуру уходящих газов;
- коэффициент избытка воздуха на из топки;
- присосы воздуха в топке, по газоходам.

3. Тип котла (по вариантам табл. 1):

Параметры свежего пара:

Параметры вторичного пара:

4. Топливо (по вариантам табл. 1):

5. Рассчитать:

- действительные объемы продуктов сгорания по газоходам;
- энтальпии продуктов сгорания по газоходам;
- объемные доли трехатомных газов и водяных паров;

6. Построить H-u диаграмму.

7. Выбрать величину потерь тепла q_3, q_4, q_5, q_6 , определить q_2 .

7. Подсчитать КПД котла, определить расход топлива B_p .

8. Выполнить конструктивный тепловой расчет топочной камеры котла с определением площади поверхности теплообмена $F_{ст}, м^2$.

Графическая часть: продольный разрез топочной камеры котла.

Таблица 1

Исходные данные для задания курсового проекта

№ варианта	Тип котла (прототип)	Паропроизводительность, т/час	Температура питательной воды, °С	Тип топлива	Дополнительные данные
1.	Е-210-13,8-560 (БКЗ-210-140)	180	230	уголь Карагандинский (марки К)	-
2.	Е-500-13,8-545 (ТПЕ - 430)	420	215	уголь Донецкий (марки Г)	-
3.	Е-400-13,8-545 (ТПЕ - 429)	360	210	уголь Кузнецкий (марки Д)	-
4.	Е-500-13,8-545 (ТГМ - 94)	480	210	природный газ	-
5.	Е-500-13,8-545 (ТГМЕ - 464)	450	210	мазут М40	-
6.	Е-420-13,8-545 (ТГМ - 84)	385	230	мазут М100	-
7.	Еп-640-13,8-545 (ТП - 100)	560	210	уголь Кузнецкий (марки Г)	Параметры вторичного пара: - давление, МПа: 2,16 - температура, °С: 545
8.	Е-420-13,8-545 (ТП - 81)	410	230	уголь Печорский	-
9.	Е-420-13,8-545 (БКЗ-420-140)	370	215	уголь Челябинский	-
10.	Е-500-13,8-545 (БКЗ-500-140)	390	220	уголь Березовский	-
11.	Е-230-9,8-540 (ТП-230)	200	210	уголь Назаровский	-
12.	Е-220-9,8-510 (БКЗ-220-100)	220	210	уголь Подмосковский	-
13.	Е-500-9,8-560 (БКЗ-500-140)	500	230	уголь Сахалинский	-
14.	Е-320-13,8-510 (БКЗ-320-140)	320	215	уголь Экибастузский	-
15.	Е-220-9,8-510 (БКЗ-220-100)	220	200	уголь Межреченский	-
16.	Е-640-13,8-570 (ТП-100)	600	270	уголь Вольнский	Параметры вторичного пара: - давление: 2,16 МПа - температура: 570 °С

17.	Е-640-13,8-570 (ТП-100)	640	270	уголь Интинский	Параметры вторичного пара: - давление: 2,16 МПа - температура: 570 °С
18.	Е-170-9,8-510 (ТП-170)	170	210	уголь Ирша- Бородинский	-
19.	Еп-640-25,0- 545/545 (ПК-47)	640	265	мазут М100	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 570 °С
20.	Еп-950-25,0- 545/545 (ПК-41)	950	270	природный газ	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 570 °С
21.	Еп-640-25,0- 545/545 (ПК-47)	670	270	мазут М40	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 570 °С
22.	Еп-640-25,0- 545/545 (ПК-47)	670	270	мазут М100	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 545 °С
23.	Еп-950-25,0- 545/545 (ПК-41)	900	265	природный газ	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 545 °С
24.	Еп-950-25,0- 545/545 (ПК-56)	600	265	природный газ	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 545 °С
25.	Еп-950-25,0- 545/545 (ТПП-110)	720	260	уголь Воркутинский	Параметры вторичного пара: - давление: 3,5 МПа - температура: 545 °С
26.	Еп-640-25,0- 545/545 (ТП-100)	590	260	уголь Кизеловский;	Параметры вторичного пара: - давление: 2,16 МПа - температура: 545 °С Температура газов перед ширмовым ПП – $v'_{ш} = 1020$ °С
27.	Еп-950-25,0- 545/545 (ПК-41)	590	255	мазут М40	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 545 °С Температура газов перед КПП – $v'_{кпп} = 815$ °С
28.	Е-230-9,8-510 (ТП-230)	230	210	уголь Интинский	Температура газов перед ЭК – $v'_{эк} = 595$ °С
29.	Еп-670-13,8- 545/545 (П-56)	670	230	природный газ	Параметры вторичного пара: - давление: 2,8 МПа - температура: 545 °С Температура газов перед ВП – $v'_{вп} = 395$ °С
30.	Е-170-9,8-510 (ТП-170)	170	200	уголь Волчанский	Температура газов перед ВП – $v'_{вп} = 430$ °С
31.	Е-670-25-545/545 (П-56)	230	260	природный газ	Параметры вторичного пара: - давление: 2,16 МПа - температура: 545 °С

					Температура газов перед ЭК – $v'_{ЭК} = 595^{\circ}\text{C}$
32.	Е-950-25-545/545 (ПК-41)	800	275	природный газ	Параметры вторичного пара: - давление: 3,9 МПа - температура: 545 °С Температура газов перед КПП – $v'_{КПП} = 860^{\circ}\text{C}$
33.	Е-640-25-545/545 (ПК-47)	620	255	мазут М40	Параметры вторичного пара: - давление: 2,16 МПа - температура: 545 °С Температура газов перед ЭК – $v'_{ЭК} = 570^{\circ}\text{C}$
34.	Е-670-25-545/545 (П-60)	640	260	мазут М100	Параметры вторичного пара: - давление: 2,19 МПа - температура: 545 °С Температура газов перед ширмовый ПП – $v'_{ш} = 1100^{\circ}\text{C}$

Для промежуточной аттестации:

Билет №1

1. Роль и назначение котельных установок. Основные понятия и определения.
2. Тепловой расчет котла. Компонентные решения. Конструктивный тепловой расчет.
Задача. Определить объемный расход воздуха для сжигания природного газа Бухарского месторождения, имеющего горючий состав: метан $\text{CH}_4 = 94,9\%$; этан $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,2\%$; пропан $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,4\%$; бутан $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1\%$; пентан $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,1\%$.

Билет №2

1. Технологическая схема работы прямоточного котла.
2. Теплообмен в топке.
Задача. Как изменится объем и объемные доли трехатомных продуктов сгорания и водяных паров при сжигании подмосковного бурого угля (состав: $W^p = 32\%$; $A^p = 28,6\%$; $S^p = 2,7\%$; $C^p = 26\%$; $H^p = 2,1\%$; $N^p = 0,4\%$; $O^p = 8,2\%$) при избытке воздуха $\alpha = 1,2$, если его влажность увеличилась до 40%?

Билет №3

1. Технологическая схема работы котельной установки с естественной циркуляцией.
2. Поверочный тепловой расчет.
Задача. Определить теоретически необходимое количество воздуха при сжигании смеси твердого и газообразного топлива (кузнецкого угля марки СС и бухарского природного газа), элементный состав которых приведен в примерах 1.1 и 1.2. Доля природного газа в общем тепловыделении $q'' = 0,4$, их низшие теплоты сгорания соответственно равны $Q'_{н} = 27420$ кДж/кг и $Q''_{н} = 36720$ кДж/м³.

Билет №4

1. Классификация котельных установок.

2. Теплообмен в конвективных поверхностях нагрева.

Задача. Определить коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания при сжигании экибастузского угля (состав: $W^p = 6,5\%$; $A^p = 36,9\%$; $S^p = 0,7\%$; $C^p = 44,8\%$; $H^p = 3\%$; $N^p = 0,8\%$; $O^p = 7,3\%$), если известно, что содержание кислорода в газоходе равно $3,5\%$; содержание трехатомных газов $RO_2 = 14,17\%$.

Билет №5

1. Энергетическое топливо. Основные виды.

2. Основные типы компоновок энергетических котлов.

Задача. Для кузнецкого угля марки СС (состав $C^p = 64,34\%$; $H^p = 3,45\%$; $N^p = 1,53\%$; $O^p = 6,9\%$; $S^p = 0,38\%$; $W^p = 12\%$; $A^p = 11,4\%$) определить плотность продуктов сгорания при температуре $\theta_r = 850\text{ }^\circ\text{C}$ и избытке воздуха $\alpha = 1,2$, а также концентрацию золовых частиц $\mu_{зл}$ при доле уноса $a_{ун} = 0,95$. Суммарный объем продуктов сгорания при нормальных условиях $V_{г}^0 = 6,92\text{ м}^3/\text{кг}$. Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сжигания топлива ($\alpha = 1$) $V^0 = 6,42\text{ м}^3/\text{кг}$.

Билет №6

1. Технические характеристики твердых топлив.

2. Обмуровочные ограждения котла.

Задача. Определить энтальпии продуктов сгорания в точках смешения: в топке (при $\theta = 1700\text{ }^\circ\text{C}$, $\alpha = 1,1$) и перед промежуточным перегревателем ($\theta'_{пп} = 850\text{ }^\circ\text{C}$, $\alpha = 1,16$) при рециркуляции газов. Принять температуру в месте отбора газов на рециркуляцию $\theta_{отб} = 390\text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha_{отб} = 1,2$; $r_{рц} = 0,15$; топливо – мазут. Энтальпии дымовых газов $H_{г}^0$ при сжигании мазута и воздуха $H_{в}^0$ при $\alpha = 1$: для $1700\text{ }^\circ\text{C}$ - $H_{г}^0 = 31522,5\text{ кДж/кг}$, $H_{в}^0 = 26814\text{ кДж/кг}$; для $850\text{ }^\circ\text{C}$ - $H_{г}^0 = 14595\text{ кДж/кг}$, $H_{в}^0 = 12609,5\text{ кДж/кг}$; для $390\text{ }^\circ\text{C}$ - $H_{г}^0 = 6303\text{ кДж/кг}$, $H_{в}^0 = 5512,2\text{ кДж/кг}$.

Билет №7

1. Технические характеристики газообразных топлив.

2. Каркас парового котла.

Задача. Определить объемный расход воздуха для сжигания природного газа Бухарского месторождения, имеющего горючий состав: метан $CH_4 = 94,9\%$; этан $C_2H_6 = 3,2\%$; пропан $C_3H_8 = 0,4\%$; бутан $C_4H_{10} = 0,1\%$; пентан $C_5H_{12} = 0,1\%$.

Билет №8

1. Технические характеристики жидких топлив.

2. Тепловая схема барабанного и прямоточного котла.

Задача. Определить теоретически необходимое количество воздуха при сжигании смеси твердого и газообразного топлива (кузнецкого угля марки СС и бухарского природного газа), элементный состав которых приведен в примерах 1.1 и 1.2. Доля природного газа в общем тепловыделении $q'' = 0,4$, их низшие теплоты сгорания соответственно равны $Q'_{н} = 27420\text{ кДж/кг}$ и $Q''_{н} = 36720\text{ кДж/м}^3$.

Билет №9

1. Приведенные характеристики топлива. Условная теплота сгорания топлива.

2. Выбор рациональной тепловой схемы котла.

Задача. Как изменится объем и объемные доли трехатомных продуктов сгорания и водяных паров при сжигании подмосковного бурого угля (состав: $W^p = 32\%$; $A^p = 28,6\%$; $S^p = 2,7\%$; $C^p = 26\%$; $H^p = 2,1\%$; $N^p = 0,4\%$; $O^p = 8,2\%$) при избытке воздуха $\alpha = 1,2$, если его влажность увеличилась до 40% ?

Билет №10

1. Механизм горения газообразного топлива. Факторы, влияющие на горение.

2. Системы совместного удаления золы и шлака.

Задача. Определить коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания при сжигании экибастузского угля (состав: $W^p = 6,5\%$; $A^p = 36,9\%$; $S^p = 0,7\%$; $C^p = 44,8\%$; $H^p = 3\%$; $N^p = 0,8\%$; $O^p = 7,3\%$), если известно, что содержание кислорода в газоходе равно $3,5\%$; содержание трехатомных газов $RO_2 = 14,17\%$.