

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»



УТВЕРЖДАЮ:
Директор института энергетики и
автоматизированных систем
С.И. Лукьянов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

КОТЛЫ-УТИЛИЗАТОРЫ

Направление подготовки

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль программы

Энергообеспечение предприятий

Уровень высшего образования - бакалавриат

Программа подготовки – академический бакалавриат

Форма обучения

очная

Институт
Кафедра
Курс
Семестр

Энергетики и автоматизированных систем
Теплотехнических и энергетических систем
4
7

Магнитогорск
2017 г.

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утвержденного приказом МОиН РФ от 01.10.2015г. № 1081.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры теплотехнических и энергетических систем 12.09.2017 г., протокол № 2.

Зав. кафедрой _____ Е.Б. Агапитов

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики и автоматизированных систем 20.09.2017 г., протокол № 1.

Председатель _____ С.И. Лукьянов

Рабочая программа составлена:

Проф., д.т.н., доцент

_____ С.В. Картавец

Рецензент:

Зам. начальника ЦЭСТ ОАО «ММК», к.т.н.

_____ В.Н. Михайловский

Лист регистрации изменений и дополнений

[illegible]

Лист регистрации изменений и дополнений

[illegible]

1 Цели освоения дисциплины

Цели освоения дисциплины Котлы-утилизаторы - ознакомить студентов со схемами, конструкциями и функционированием распространенных в промышленной теплоэнергетике систем, научить основам расчетов и проектирования систем их элементов.

Задачи изучения дисциплины - изучить системы вторичных энергоресурсов и использования низкопотенциальной теплоты, действующие на промышленных предприятиях. Изучить методы расчетов систем и оборудования. Изучить основную научно-техническую проблематику, встречающуюся при эксплуатации, модернизации, проектировании и создании систем вторичных энергоресурсов и низкопотенциальной теплоты.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы подготовки бакалавра

Дисциплина Б1.В.ДВ.09.02 Котлы-утилизаторы входит в вариативную часть блока 1 образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин:

- Б1.Б.16 Техническая термодинамика
- Б1.Б.17 Гидрогазодинамика
- Б1.Б.19 Тепломассообмен
- Б1.В.03 Топливо и основы теории горения
- Б1.В.04 Основы трансформации теплоты
- Б1.В.05 Источники и системы теплоснабжения
- Б1.В.06 Котельные установки и парогенераторы
- Б1.В.07 Тепломассообменное оборудование предприятий
- Б1.В.08 Нагнетатели и тепловые двигатели
- Б1.В.ДВ.05.01 Высокотемпературные процессы и установки

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы при изучении последующих дисциплин

- Б1.В.02 Проектная деятельность
- Б1.В.12 Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии
- Б1.В.13 Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологии
- Б1.В.ДВ.04.01 Энергобалансы предприятий
- Б1.В.ДВ.10.01 Методы инженерных исследований
- Б2.В.03(П) Производственная преддипломная практика

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

В результате освоения дисциплины (модуля) «Котлы-утилизаторы» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-9 способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве	
Знать	Основные определения и понятия теплотехнологического процесса; Основные правила соблюдения технологической безопасности на

	производственных участках; Определения нормируемых процессов на производственных участках
Уметь	Выделять основные стадии теплотехнологического процесса; Обсуждать способы эффективного решения проблем технологической безопасности; Приобретать знания в области энергетики теплотехнологий
Владеть	Практическими навыками использования знаний энергетики теплотехнологий; Методами контроля соблюдения технологической безопасности на производственном участке; Способами оценивания значимости и практической пригодности полученных результатов
ПК-10 готовностью к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	
Знать	Основные определения и понятия теплотехнологического процесса; Основные правила соблюдения технологической безопасности на производственных участках; Определения нормируемых процессов на производственных участках
Уметь	Выделять основные стадии теплотехнологического процесса; Обсуждать способы эффективного решения проблем технологической безопасности; Приобретать знания в области энергетики теплотехнологий
Владеть	Практическими навыками использования знаний энергетики теплотехнологий; Методами контроля соблюдения технологической безопасности на производственном участке; Способами оценивания значимости и практической пригодности полученных результатов

4. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы - 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 55,9 акад. часов.
- аудиторная - 54 акад. часа
- внеаудиторная – 1,9 акад. час
- самостоятельная работа – 52,1 акад. часа.

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. Занятия	практич. занятия				
1. Раздел. Основные сведения о котлах-утилизаторах	7							
Тема 1.1. Общие характеристики котлов-утилизаторов	7	4		2	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 1.1.	устный опрос (собеседование)	ПК-9; ПК-10 зуб
Тема 1.2. Основные элементы котлов-утилизаторов	7	4		2	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 1.2.	самоотчеты;	ПК-9; ПК-10 зуб
Тема 1.3. Надежная работа котлов-утилизаторов	7	4		2/2И	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, катало-	консультации	ПК-9; ПК-10 зуб

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. Занятия	практич. занятия				
						гами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 1.3.		
Итого по разделу 1	3	12		6/2И	18			
2.Раздел. Энергетика котлов-утилизаторов	3							
Тема 2.1. Конструкции котлов и вспомогательное оборудование	7	4		2	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 2.1.	устный опрос (собеседование)	ПК-9; ПК-10 зув
Тема 2.2. Материальные и тепловые балансы котлов-утилизаторов при работе на газовом, жидком и твердом топливах и производственных отходах.	7	4		2	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 2.2.	самоотчеты;	ПК-9; ПК-10 зув
Тема 2.3. Требования, предъявляемые к питательной воде и пару. Водный режим котлов-утилизаторов.	7	4		2/2И	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 2.3.	консультации	ПК-9; ПК-10 зув
Итого по разделу 2	3	12		6/2И	18			
3. Раздел. Технологическая работа котлов-утилизаторов	3							

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. Занятия	практич. занятия				
Тема 3.1. Рабочие процессы в пароводяном тракте котлов-утилизаторов. Обеспечение надежной гидродинамики в котельных агрегатах с естественной циркуляцией и принудительным движением воды и пароводяной смеси.	7	4		2/2И	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 3.1.	устный опрос (собеседование)	ПК-9; ПК-10 зув
Тема 3.2. Котлы на отходящих газах, особенности выполнения конструкций и эксплуатации. Схемы включения котлов утилизаторов.	7	4		2	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 3.2.	самоотчеты;	ПК-9; ПК-10 зув
Тема 3.3. Эксплуатация и испытания котлов-утилизаторов	7	4		2/2И	4,1	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями) п. 6.1, тема 3.3.	консультации	ПК-9; ПК-10 зув
Итого по разделу		12		6/4И	16,1			
Итого по дисциплине		36		18/8И	52,1		Зачет	

5 Образовательные и информационные технологии

Для решения предусмотренных видов учебной работы при изучении дисциплины в качестве образовательных технологий используются как традиционные, так и модульно - компетентностные технологии. Передача необходимых теоретических знаний и формирование представлений по курсу происходит с применением мультимедийного оборудования. Лекционный материал закрепляется на практических работах, где применяется совместная деятельность студентов в группе, направленная на решение общей задачи путем сложения результатов индивидуальной работы членов группы. Для развития и совершенствования коммуникативных способностей студентов организуются практические занятия в виде дискуссий, анализа реальных проблемных ситуаций и междисциплинарных связей из различных областей в контексте решаемой задачи. Самостоятельная работа стимулирует студентов к самостоятельной проработке тем в процессе написания рефератов, подготовки к дискуссиям, к контрольным работам и тестированию. При организации самостоятельной работы студентов используются электронные версии курса лекций, лабораторного практикума.

Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбор конкретных ситуаций, психологические и иные тренинги) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Перечень контрольных вопросов для промежуточного контроля при проработке лекционных материалов

Тема 1.1.

1. Назначение и классификация котлов-утилизаторов. Параметры и обозначения паровых котлов.
2. Чем задается движение рабочей среды в парообразующих трубах котлов с естественной циркуляцией?
3. Рабочие элементы паровых котлов.
4. Схема пароводяного тракта котла с естественной циркуляцией.
5. Чему равна кратность циркуляции для прямоточного котла?
6. Схема парового котла с многократной принудительной циркуляцией.
7. Прямоточные котлы и их особенности.
8. Какой элемент отсутствует в прямоточных котла?
9. Укажите обозначение типоразмера котла с многократной принудительной циркуляцией и промежуточным пароперегревателем?
10. В основу классификации котлов положены процессы, протекающие в одной из его поверхностей нагрева. В какой именно? Какая особенность процессов при этом учитывается?

Тема 2.1.

1. Характеристики энергетического топлива. Виды и элементарный состав энергетических топлив.
2. Исключите из теплового баланса парового котла, работающего на природном газе, соответствующую статью тепловых потерь.
 - 1) через ограждения;
 - 2) с уходящими газами;
 - 3) от механического недожога;
 - 4) от химического недожога;

- 5) с золой.
3. Какие величины составляют материальный баланс веществ котельной установки.
 4. Продувка, ее разновидности и смысл использования.
 5. Основные статьи теплового баланса веществ в котле.
 6. Что такое номинальная паропроизводительность котла.
 7. Теоретический и действительный расходы воздуха на горение, коэффициент избытка воздуха.
 8. Состав дымовых газов при полном и неполном горении, определение их количества.
 9. Присосы воздуха по тракту котла, их влияние на количество продуктов сгорания.
 10. Трехатомные и двухатомные газы, определение их количества.

Тема 3.1.

1. Коэффициент полезного действия котла и расход топлива, его разновидности для котельных установок.
2. Алгоритм расчета продуктов сгорания топлива (теоретический расход воздуха, объем и энтальпии продуктов сгорания).
3. Полезно использованная теплота топлива в котельной установке. Располагаемая теплота в котельной установке.
4. Потери теплоты с уходящими газами, причины возникновения, количество в процентном соотношении, способы сокращения.
5. Потери теплоты от механического недожога, причины возникновения, количество в процентном соотношении, способы сокращения.
6. Потери теплоты от химического недожога, причины возникновения, количество в процентном соотношении, способы сокращения.
7. Потери теплоты через ограждающие поверхности, причины возникновения, количество в процентном соотношении, способы сокращения.
8. Потери теплоты с золой и шлаком, причины возникновения, количество в процентном соотношении, способы сокращения.
9. Определение КПД котла методом прямого и обратного тепловых балансов.
10. Пути повышения эффективности работы котельных установок.

Тема 2.1.

1. Топки для сжигания твердого топлива, виды, области применения, закономерности горения твердого топлива.
2. Сжигание топлива в слое, разновидности, применение.
3. Схемы сжигания твердого топлива в слоевых топках, разновидности топок, топливоподача.
4. Закономерности сжигания газообразного топлива, устройства для сжигания, кинетическое и диффузионное горение.
5. Закономерности сжигания жидкого топлива, устройства.
6. Камерное сжигание твердого топлива. Особенности использования пылевидного топлива.
7. Тракт углеподачи и пылеприготовления. Основные характеристики топливной пыли.
8. Затраты энергии на размол пыли и классификация топливоразмольных мельниц.
9. Назначение и конструкции углеразмольных мельниц.
10. Пылепитатели и сепараторы пыли.

Тема 2.2.

1. Виды, назначение, конструкции и принцип расчета испарительных поверхностей нагрева котлов.

2. Назначение, конструкции и принцип расчета пароперегревателей котлов.
3. Исключите из перечня поверхностей нагрева котла поверхность не относящуюся к испарительным.
 - 1) подъемные экранные трубы;
 - 2) фестоны;
 - 3) конвективные кипящие пучки;
 - 4) пароперегреватель.
4. Конструкции и особенности работы воздухоподогревателей котлов.
5. Наибольший возможный температурный напор достигается при:
 - 1) прямотоке;
 - 2) перекрестном токе;
 - 3) противотоке;
 - 4) смешанном токе.
6. Назначение, конструкции и принцип расчета экономайзеров котлов.
7. Конструкции котельных агрегатов типа ДКВР (ДЕ).
8. Какие поверхности, нагрева расположены в нижней части топки? Почему они так называются?
9. Какие поверхности нагрева расположены в горизонтальном (переходном) газоходе?
10. Какую роль выполняет экономайзер котла? Где расположены образующие его поверхности нагрева?

Тема 2.3.

1. Вода, показателя качества.
2. Водный режим котлов. Отложение солей жесткости на поверхностях нагрева котлов, виды отложений, факторы образования.
3. Требования к питательной воде котельных установок, поведение примесей, коррозия.
4. Продувка, снижение солесодержания по водяному тракту котла.
5. Сепарация пара, вынос влаги и солей.
6. Методы получения чистого пара (продувка, ступенчатое испарение, сепарация, промывка).
7. Деаэрация воды в котельных установках, причины применения.
8. Шлакование поверхностей нагрева котла.
9. Способы очистки от поверхностей нагрева от шлака.
10. Очистка поверхностей нагрева котла от накипи.

Тема 3.1.

1. Тепловая схема парового котла.
2. Основы теплового расчета котельных установок.
3. Порядок и последовательность расчета.
4. Расчет объемов и энтальпий воздуха и продуктов сгорания.
5. Теплообмен в топочной камере и методы его расчета (геометрические и оптические характеристики, степень экранирования, степень черноты).
6. Теплообмен и методы его расчета в конвективных поверхностях нагрева (температурные напоры, живые сечения, толщина излучающего слоя, скорости газа и рабочего тела, коэффициенты загрязнения).
7. Компоновка топочных устройств.
8. Выбор основных размеров котла.
9. Компоновка отдельных поверхностей нагрева котла.
10. Пример теплового расчета котла ДКВр-10-13.

Тема 3.2.

1. Перечислите основные типы котлов с точки зрения схемы движения (циркуляции) среды в испарительных (парообразующих) поверхностях нагрева.
2. Можно ли создать котел с естественной циркуляцией, работающий при сверхкритических параметрах пара?
3. Какие силы обеспечивают движение рабочего тела через испарительные поверхности нагрева котла с естественной циркуляцией?
4. Для котла с естественной циркуляцией обязателен элемент, который отсутствует в прямоточных котлах. Какой это элемент?
5. Газодинамический расчет элементов котла, выбор тягодутьевых машин.
6. Особенности гидродинамики котлов (напор циркуляции, сопротивления, пленочный и пузырьковые режимы, надежность циркуляции, тепловая и гидравлическая развертки).
7. Надежность циркуляции.
8. Какие элементы (устройства) обеспечивают удаление уходящих газов (продуктов сгорания топлива) из котла в атмосферу?
9. Почему дымосос располагают по тракту дымовых газов за золоуловителем, а не перед ним?
10. Какие преимущества имеет Т-образная компоновка котла?

Тема 3.3.

1. Выход и характеристики шлака и золы.
2. Состав шлака и золы.
3. Защита окружающей среды от вредных выбросов при работе котлов.
4. Содержание вредных примесей в продуктах сгорания
5. Золоулавливание. Защита продуктов сгорания от оксидов серы и азота
6. Конденсация водяных паров из продуктов сгорания. Недостатки, способы борьбы.
7. Обезвреживание сточных вод ТЭС.
8. Золо – и шлакоудаление, хранение, консервирование.
9. Шлако – и золо использование в промышленности.
10. Влияние вредных примесей на экономику работы котельной установки.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

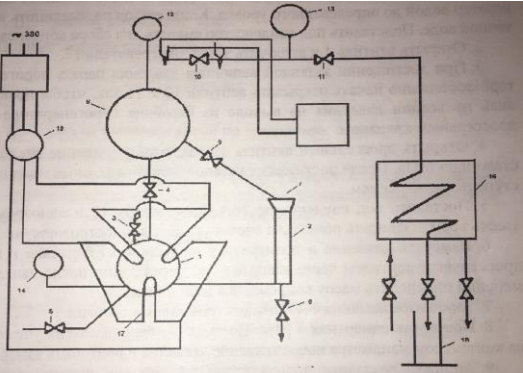
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-9 способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве		
Знать	Основные определения и понятия теплотехнологического процесса; Основные правила соблюдения технологической безопасности на производственных участках; Определения нормируемых процессов на производственных участках	1. Какие виды поверхностей нагрева различают в паровых котлах с точки зрения протекающих в них процессов? 2. Какие процессы с рабочим телом протекают в экономайзерных поверхностях нагрева котла? 3. Каким образом обеспечивается движение рабочего тела через экономайзерные поверхности нагрева котла? 4. В основу классификации котлов положены процессы, протекающие в одной из его поверхностей нагрева. В какой именно? Какая особенность процессов при этом учитывается? 5. Перечислите основные типы котлов с точки зрения схемы движения (циркуляции) среды в испарительных (парообразующих) поверхностях нагрева. 6. Какие силы обеспечивают движение рабочего тела через испарительные поверхности нагрева котла с естественной циркуляцией ? 7. Можно ли создать котел с естественной циркуляцией, работающий при сверхкритических параметрах пара? 8. Для котла с естественной циркуляцией обязателен элемент, который отсутствует в прямоточных котлах. Какой это элемент? 9. Наличие какого элемента отличает схему котла с многократной принудительной циркуляцией от схемы котла с естественной циркуляцией? 10. Объясните происхождение названия «прямоточный котел». 11. Объясните различие в схемах прямоточного котла и котла с комбинированной циркуляцией. 12. Расшифруйте марку котлов: 1) Пп-1650-255; 2) Еп-670-13,8-542/545М. 13. Укажите наличие или отсутствие барабана в котлах со следующей маркировкой: 1) Е-500-13,8-560ТМ; 2) Пп-1000-25,0-545/545КТ; 3) Прп-670-18,8-545/545БЖ. 14. В каком виде поступает уголь в топку современного котла?

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		15. Где хранится запас угля на электростанции? 16. Каким образом уголь на электростанции попадает к бункерам котла? 17. Каким образом угольная пыль из углеразмольной мельницы попадает в топку котла? 18. Как называются поверхности нагрева, расположенные в топке котла? Каково происхождение этого названия? 19. Опускную вертикальную шахту, через которую отводятся дымовые газы из топки котла, называют "конвективной шахтой". Объясните происхождение этого названия. 20. Какие поверхности, нагрева расположены в нижней части топки? Почему они так называются? 21. Какие поверхности нагрева расположены в горизонтальном (переходном) газоходе? 22. Какую роль выполняет экономайзер котла? Где расположены образующие его поверхности нагрева? 23. Объясните термины "первичный" и "вторичный" воздух. 24. Как называют продукты сгорания топлива на выходе из котла? Какова их температура для современного мощного котла? 25. Какие элементы (устройства) обеспечивают удаление уходящих газов (продуктов сгорания топлива) из котла в атмосферу? 26. Почему дымосос располагают по тракту дымовых газов за золоуловителем, а не перед ним? 27. Какие преимущества имеет Т-образная компоновка котла? 28. Какое понятие шире: "паровой котел" или "котельная установка"? 29. Перечислите основные тракты котельной установки.
Уметь	Выделять основные стадии тепло-технологического процесса; Обсуждать способы эффективного решения проблем технологической безопасности; Приобретать зна-	1. Произвести расчет теплообмена в топочной камере котла ДКВР-6,5-13 при площади тепловосприятия $F_T = 39 \text{ м}^2$ и $\vartheta_a = 1900 \text{ }^\circ\text{C}$ и сжигании природного газа. 2. Произвести расчет теплообмена в конвективных поверхностях нагрева котла ДКВР-10-13, работающего на природном газе, при температурах дымовых газов на входе и выходе $\vartheta' = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\vartheta'' = 800 \text{ }^\circ\text{C}$, площади теплообмена $F_T = 52 \text{ м}^2$. 3. Выполнить расчет укрупненного теплового баланса парового котла типа ДКВР-10-13 при сжигании твердого топлива при номинальном расходе. 4. Выполнить расчет КПД-брутто и КПД-нетто для парового котла типа ДКВР-10-13, работающем на газообразном топливе при номинальном расходе.

Структур- ный эле- мент компетен- ции	Планируемые ре- зультаты обуче- ния	Оценочные средства							
	ния в области энергетики тепло- технологий	5. Рассчитать скорость витания при сжигании твердого топлива в «кипящем» слое при средней фракции ча- стиц угля $d_{\text{ч}} = 120$ мкм и плотности $\rho_{\text{ч}} = 1200$ кг/м ³ . 6. Рассчитать кратность циркуляции и движущий напор для прямоточного котла типоразмера П-800-210.							
Владеть	Практическими навыками исполь- зования знаний энергетики тепло- технологии; Методами кон- троля соблюдения технологической безопасности на производственном участке; Способами оцени- вания значимости и практической пригодности по- лученных резуль- татов	Выполнить тепловой расчет парового котельного агрегата ДКВР для следующих исходных данных:							
		Тип котла	Производитель- ность		Давле- ние	Пар	Температу- ра пита- тельной во- ды	Хвостовые по- верхности	Продув- ка
		ДКВР 10-13	2,5 кг/с		1,2 МПа	Насыщен- ный	104 °С	Пароперегрева- тель	8%
		Состав топ- лива	C^p , %	H^p , %	N^p , %	O^p , %	S_{κ}^p , %	W^p , %	A^p , %
		Назаров- ский бурый уголь	70	3,3	1,5	2	0,5	8	14,8
Структур- ный эле- мент компетен- ции	Планируемые ре- зультаты обучения	Оценочные средства							
ПК-10 готовностью к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов									
Знать	Основные опреде- ления и понятия	1. Назначение и классификация котлов-утилизаторов. 2. Рабочие элементы паровых котлов.							

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	теплотехнологического процесса; Основные правила соблюдения технологической безопасности на производственных участках; Определения нормируемых процессов на производственных участках	3. Параметры и обозначения паровых котлов. 4. Схема пароводяного тракта котла с естественной циркуляцией. 5. Схема парового котла с многократной принудительной циркуляцией. 6. Прямоточные котлы и их особенности. 7. Схема котлов-утилизаторов с П-образной компоновкой. 8. Назначение, конструкции и принцип расчета экономайзеров котлов. 9. Назначение, конструкции и принцип расчета испарительных поверхностей нагрева котлов. 10. Назначение, конструкции и принцип расчета пароперегревателей котлов. 11. Конструкции и особенности работы воздухоподогревателей котлов. 12. Назначение и особенности работы котлов-утилизаторов. 13. Конструкции котельных агрегатов типа ДКВР (ДЕ). 14. Конструкции энергетических котлов на примере Е-210-140 (БКЗ-210-140). 15. Конструкции и особенности работы теплофикационных водогрейных котлов, на примере КВ-ГМ-100. 16. Тепловой баланс парового котла. 17. Тепловые потери парового котла. 18. Коэффициент полезного действия котла и расход топлива. 19. Теплообмен в топочной камере и методы его расчета (геометрические и оптические характеристики, степень экранирования, степень черноты). 20. Теплообмен и методы его расчета в конвективных поверхностях нагрева (температурные напоры, живые сечения, толщина излучающего слоя, скорости газа и рабочего тела, коэффициенты загрязнения).
Уметь	Выделять основные стадии теплотехнологического процесса; Обсуждать способы эффективного решения проблем технологической	1. Произвести расчет теплообмена в топочной камере котла ДКВР-6,5-13 при площади тепловосприятия $F_T = 39 \text{ м}^2$ и $\theta_a = 1900 \text{ °C}$ и сжигании природного газа. 2. Произвести расчет теплообмена в конвективных поверхностях нагрева котла ДКВР-10-13, работающего на природном газе, при температурах дымовых газов на входе и выходе $\theta' = 1050 \text{ °C}$ и $\theta'' = 800 \text{ °C}$, площади теплообмена $F_r = 52 \text{ м}^2$. 3. Выполнить расчет укрупненного теплового баланса парового котла типа ДКВР-10-13 при сжигании твердого топлива при номинальном расходе. 4. Выполнить расчет КПД-брутто и КПД-нетто для парового котла

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	безопасности; Приобретать знания в области энергетики тепло-технологий	типа ДКВР-10-13, работающем на газообразном топливе при номинальном расходе. 5. Рассчитать скорость витания при сжигании твердого топлива в «кипящем» слое при средней фракции частиц угля $d_{\text{ч}} = 120 \text{ мкм}$ и плотности $\rho_{\text{ч}} = 1200 \text{ кг/м}^3$. 6. Рассчитать кратность циркуляции и движущий напор для прямоточного котла типоразмера П-800-210.
Владеть	Практическими навыками использования знаний энергетики тепло-технологии; Методами контроля соблюдения технологической безопасности на производственном участке; Способами оценивания значимости и практической пригодности полученных результатов	Описание лабораторной установки Экспериментальная установка (рис.) состоит из электрического парогенератора 1, конденсатора 16 и системы контрольно-измерительных приборов. Из водопровода через вентиль 5 вода заливается в парогенератор, где с помощью электронагревателя 17 она превращается в пар. Далее через вентиль 4 пар поступает в барабан парогенератора 8. Парогенератор снабжен предохранительным клапаном 3, который отрегулирован на давление 0,22-0,24 МПа. Для слива конденсата из барабана котла в воронку имеется специальный сливной кран 9. Из барабана котла влажный насыщенный пар выходит через дроссельный вентиль 10. Вентиль 11 служит для поддержания в системе некоторого избыточного давления. Сдросселированный пар проходит через конденсатор поверхностного охлаждения 16 и образовавшийся конденсат собирается в мерном цилиндре 18. В установке используются контрольно-измерительные приборы, служащие для определения температуры (милливольтметр) и давления пара на различных участках, а также мощности трубчатого электронагревателя (электросчетчик). Для измерения времени накопления конденсата в мерном цилиндре 18 служит секундомер. Лабораторная работа №1 ИССЛЕДОВАНИЕ КПД КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА Цель работы: экспериментальное изучение КПД котла методом прямого теплового баланса. План выполнения работы 1. Перед выполнением работы необходимо внимательно ознакомиться с оборудованием установки. Закрывать все краны и вентили. Залить парогенератор водой до определенного уровня. Конденсатор подсоединить к проточной воде. Подставить под конденсатор емкость для сбора конденсата. 2. Открыть вентиль 4 и включить электронагреватель 17. 3. При достижении заданной величины давления пара в парогенераторе постепенно начать открывать вентили 10 и 11 так, чтобы прекратились пульсации давления на выходе из барабана парогенератора и за дроссельным клапаном.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		 Рис. 2. Схема лабораторной установки: 1 – парогенератор; 2 – водоуказательная колонка; 3 – предохранительный клапан; 4 – вентиль для подачи пара; 5 – вентиль для заполнения парогенератора водой; 6 – дренажный вентиль; 7 – воронка для слива конденсата из барабана; 8 – барабан парогенератора; 9 – вентиль для слива конденсата; 10 – дроссельный вентиль; 11 – вентиль для регулирования давления; 12, 13 – образцовые манометры; 14 – манометр электроконтактный; 15 – термопары (ХА); 16 – конденсатор; 17 – электронагреватели; 18 – мерный цилиндр; 19 – счетчик расхода электроэнергии 4. Открыть дроссельный вентиль 10 так, чтобы давление после него стало 0,05 МПа. После достижения установившегося режима можно приступить к измерениям. 5. Поставить под конденсатор 16 мерную колбу 18 и одновременно засечь время. Записать показания счетчика расхода электроэнергии. 6. Измерять давление и температуру на выходе из барабана и перед дроссельным вентилем через каждые 60 с. Через 3 мин после начала измерений определить массу конденсата в мерной колбе. 7. Записать показания счетчика расхода электроэнергии. 8. Повторить измерения 3 раза. По заданию преподавателя установить на контактном манометре новое значение давления и повторить замер. 9. Записать показания водоуказательной колонки парогенератора в начале и в конце каждой серии замеров. 10. Поддерживать на одном и том же уровне (0,05 МПа) давление в системе после дроссельного вентиль 10. 11. Перед оформлением отчета перевести показания милливольтметра в градусы Цельсия при помощи стандартной тарировочной таблицы. 12. Составить прямой тепловой баланс и найти тепловые потери парогенератора и КПД для исследуемых режимов. 13. Настроить зависимость паропроизводительности D парогенератора от удельной электрической мощности $N_э/M_{ж}$, и КПД парогенератора от паропроизводительности, где $N_э$ — электрическая мощность парогенератора, кВт; $M_{ж}$ — средняя масса жидкости в парогенераторе во время каждой серии экспериментов, определяемая по водоуказательной колбе, кг. 14. Определить потери теплоты парогенератором расчетным путем, сопоставив с величиной потерь, найденных из теплового баланса, определить величину невязки. Расчетная часть

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		1. Полезные затраты тепла $Q_n = G_n * i_n \quad (10)$ где $G_n = G_k$ – расход пара, кг/с; i_n — энтальпия пара при давлении Р перед редукционным клапаном, кДж/кг; G_k- расход конденсата, кг/с. 2. Полные затраты тепла, кВт, $Q_3 = \frac{Q_3' - Q_3''}{\tau} \quad (11)$ $Q_3' \cdot Q_3''$ — расход электроэнергии по показаниям счетчика, кВт*ч; τ — время эксперимента, ч. 3. Количество тепла, теряемое парогенератором в окружающую среду, для промышленных котельных установок определяется по номограммам в зависимости от производительности котла. Для лабораторного парогенератора $Q_{потерь} = \alpha * \Delta t * F \quad (12)$ где α - коэффициент теплоотдачи для условий свободной конвекции, кВт/м²*°С; $\Delta t = t_c + t_s$, t_c —средняя температура стенки парогенератора, °С; t_s —температура воздуха вдали от парогенератора, °С; F — поверхность теплообмена $F = F_n + F_b$; F_n—поверхность парогенератора; F_b —поверхность барабана. Для нахождения α используется критериальное уравнение $Nu = C * (Gr * Pr)^n$ где $Gr = g\beta * \Delta t * d^3 / \nu^2$—критерий Грасгофа; $Pr = \nu / a$ — критерий Прандтля. Значения кинематической вязкости ν, м²/с, температурного коэффициента объемного расширения β, °С⁻¹, коэффициента теплопроводности a, м²/с, и коэффициента теплопроводности воздуха λ Вт/м°С, принимаются при средней температуре $t = 0.5(t_c + t_s)$ по формулам: $\nu = (5.1 * 10^{(-5)} t^2 + 0.115 t + 13.2) * 10^{(-6)}$; $\beta = 1.37 * 10^{(-8)} t^2 - 1.45 * 10^{(-5)} t + 0.0047$; $a = (7.71 * 10^{(-6)} t^2 + 0.015 t + 1.76) * 10^{(-5)}$; $\lambda = -2.58 * 10^{(-9)} t^2 + 7.86 * 10^{(-5)} t + 0.023$. В диапазоне значений произведения $10^3 < Gr * Pr < 10^9$ коэффициент С в уравнении (13) аппроксимируется уравнением

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		$C = 1.54 \cdot 10^{-4} \text{Pr}^3 - 0,017 \text{Pr}^2 + 0,181 \text{Pr} + 0,971$, (14) а степень $n = 0,25$. Коэффициент теплоотдачи для условий свободной конвекции определяется по уравнению $\alpha = Nu * \lambda / D_{cp}$ (15) , где $D_{cp} = d$ — средний диаметр парогенератора и барабана. Определить потери тепла для двух условий: при температурах $t_{\text{с}} = 10^\circ\text{C}$ и $t_{\text{с}} = 50^\circ\text{C}$, а также при $t_{\text{с}} = 25^\circ\text{C}$ и $t_{\text{с}} = 80^\circ\text{C}$. 4. Определить удельную электрическую нагрузку парогенератора $N_{y\partial} = N_{\text{э}} / M_{\text{с}}$ (16) где $N_{\text{э}}$ — электрическая мощность парогенератора, кВт; $M_{\text{с}}$ — масса нагреваемой воды, кг. Порядок оформления отчет Отчет по работе должен содержать следующее: 1) название и цель работы; 2) краткий конспект теоретического введения; 3) описание схемы установки; 4) порядок выполнения работы; 5) результаты измерений и расчетов (см. приложение); б) выводы по работе (объяснить полученные зависимости). Лабораторная работа №2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД КОТЛА И РАСХОДА ТОПЛИВА Цель работы: изучение методики ускоренного расчета парового котла на основе экспериментальных данных. План выполнения работы Электрическая мощность котла принимается из лабораторной работы N2 в диапазоне $N_{\text{эл}} = 6\text{-}9$ кВт. Паро-производительность по насыщенному пару для электрокотла с КПД $\eta_{\text{эл}}$ равна: $D_{\text{н}} = N_{\text{эл}} \eta_{\text{эл}} / (i_{\text{н}} - i_{\text{нс}})$, где $i_{\text{н}}$ и $i_{\text{нс}}$ — энтальпии сухого насыщенного пара и питательной воды, кДж/кг, на кривой насыщения при давлении $P = 0,2$ МПа и температуре 120°C. Необходимо определить расчетный расход топлива $B_{\text{р}}$ для эквивалентного по паропроизводительности топливного котла. Исходные данные для расчета: вид сжигаемого топлива- каменный уголь Кузнецкого месторождения (марки 2СС); низшая теплота сгорания- $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 24,6$ МДж/кг; основные компоненты рабочей массы, %: $C^{\text{р}} = 64,1$; $H^{\text{р}} = 3,3$; $A^{\text{р}} = 18,2$; $W^{\text{р}} = 9,0$; температура топлива $t_{\text{т}} = 200^\circ\text{C}$; подогрев воздуха $t_{\text{подс}} = 350^\circ\text{C}$; температура холод-

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		ного воздуха $t_{xs} = 20$ °С; температура уходящих газов $\vartheta_{yx} = 130$ °С; коэффициент избытка воздуха в уходящих газах $\alpha_{yx} = 1,4$; объемы компонентов продуктов сгорания, м³/кг: трехатомных газов $V_{RO2} = 1,2$, азота $V_{N2} = 5,16$; доли золы в шлаке и уносе, определяемые взвешиванием и из золowego баланса ($a_{шт} + H = 1$) - $a_{шт} = 0,2$ и $a_{ун} = 0,8$; теплоемкость шлака при его температуре $t_{шт} = 1380$ °С - $C_{шт} = 2,42 \cdot 10^{-4} t_{шт} + 0,79$ [кДж/(кг*К)]; содержания горючих соответственно в шлаке и уносе, определяемые взвешиванием и дожиганием лабораторных проб: $\Gamma_{шт} = 30$ % и $\Gamma_{ун} = 50$ %; объемное содержание продуктов неполного сгорания в уходящих газах, %: CO = 0,5, $H_2 = 0,3$, $CH_4 = 0,1$. Расчет проводится по методике ускоренного теплового расчета котла [4]: 1. Теоретически необходимый расход воздуха, м³/кг: $V_s^o = 0,263 Q_p^p + 0,007 W^p = 0,0889 C^p + 0,265 H^p = Q_p^p / 3,7$; где W в мДж/кг. 2. Коэффициент, учитывающий различие низшей и располагаемой теплоты сгорания топлива: $k_q = 1 + (0,055 t_T + 0,35 \Delta t_{подс.с.}) \cdot 10^{-3}$. 3. Располагаемая теплота, мДж/кг: $Q_p^p = k_q Q_p^p$. 4. Энтальпия теоретического объема воздуха, кДж/кг: $(VC)_s^o = V_s^o \cdot 100 [1,32 + 0,122 (\vartheta_{yx} \cdot 10^{-3} - 0,1)]$. 5. Потери теплоты с уходящими газами, %: $q_2 = (VC)_s^o \vartheta_{yx} \{ a_{ун} [1 - (t_{xs} / \vartheta_{yx})] (\alpha_{yx} - 1) \} / Q_p^p$, где Q_p^p в кДж/кг. 6. Потери теплоты (недожог) от механической неполноты сгорания, %: $q_4 = \{ [a_{шт} \Gamma_{шт} / (100 - \Gamma_{шт})] + [a_{ун} \cdot \Gamma_{ун} / (100 - \Gamma_{ун})] \} \cdot 32,7 \cdot 100 / Q_p^p$, где Q_p^p в кДж/кг. 7. Объем сухих газов (м³/кг): $V_{сз} = V_{RO2} + V_{N2}^o + (\alpha_{yx} - 1) V_s^o$ 8. Потери теплоты (недожог) от химической неполноты сгорания топлива, %: $q_3 = (126,4 CO + 108 H_2 + 3 \cdot 58,2 CH_4) V_{сз} (100 - q_4) 100 / Q_p^p$, где Q_p^p в Дж/кг. 9. Потери теплоты в окружающую среду, %, в зависимости от номинальной нагрузки D_H, кг/с: $q_{5H} = 3,6 \cdot 10^{-11} D_H^6 - 1,47 \cdot 10^{-8} D_H^5 + 2,28 \cdot 10^{-6} D_H^4 - 1,72 \cdot 10^{-4} D_H^3 + 0,68 \cdot 10^{-2} D_H^2 - 0,1 D_H + 1,1$ 10. Потери теплоты в окружающую среду при ненормальной нагрузке D: $q_5 = q_{5H} D_H / D$ 11. Потери теплоты с физической теплотой шлака: $q_6 = a_{шт} A^p C_{шт} t_{шт} / Q_p^p$, где Q_p^p в кДж/кг. 12. КПД котла брутто, %: $\eta_k^{бп} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$

Структур- ный эле- мент компетен- ции	Планируемые ре- зультаты обуче- ния	Оценочные средства																								
		13. Коэффициент сохранения теплоты $\varphi = \left\{1 - \left[\frac{q_5}{\eta_k^p + q_5}\right]\right\}$ 14. Расход топлива, подаваемого в топку В, кг/с: $B = \frac{Q_k^{100}}{Q_p^p \eta_k^p} = 2,56 D_H \left(\frac{10}{P_H}\right)^{0,175} / (Q_p^p \eta_k^p)$ 15. Расчетный расход топлива B_p, кг/с: $B_p = B [1 - (q_4/100)]$. Порядок оформления отчета Отчет по работе должен содержать следующее: 1) название и цель работы; 2) краткий конспект теоретического введения; 3) описание схемы установки; 4) порядок выполнения работы; 5) результаты измерений и расчетов (см. приложение); б) выводы по работе (объяснить полученные зависимости). КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 1. Как составляется тепловой баланс и находится КПД парового котла? 2. Как определяются тепловые потери котла? 3. Что такое КПД брутто и КПД нетто котла? 4. Объяснить методологию прямого и обратного теплового баланса. Приложение Таблица П1 Результаты экспериментального исследования парогенератора <table><tr><th>Номер серии замеров</th><th>Время опыта τ, мин</th><th>Среднее дав- ление в паро- генераторе Р, МПа</th><th>Давление пара перед дроссельным вентилем P_H, МПа</th><th>Температура пара t_p, °С</th><th>Энтальпия пара i_p, кДж/кг</th><th>Расход конденсата Gk, кг/с</th><th>Расход элек- троэнергии Qэ' Qэ'', кВт*ч кВт*ч</th></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> Таблица П2 Тепловые характеристики парогенератора <i>Описание лабораторной установки</i> Экспериментальная установка (рис.) состоит из электрического парогенератора 1, конденсатора 16 и систе-	Номер серии замеров	Время опыта τ , мин	Среднее дав- ление в паро- генераторе Р, МПа	Давление пара перед дроссельным вентилем P_H , МПа	Температура пара t_p , °С	Энтальпия пара i_p , кДж/кг	Расход конденсата Gk, кг/с	Расход элек- троэнергии Qэ' Qэ'', кВт*ч кВт*ч	1								2							
Номер серии замеров	Время опыта τ , мин	Среднее дав- ление в паро- генераторе Р, МПа	Давление пара перед дроссельным вентилем P_H , МПа	Температура пара t_p , °С	Энтальпия пара i_p , кДж/кг	Расход конденсата Gk, кг/с	Расход элек- троэнергии Qэ' Qэ'', кВт*ч кВт*ч																			
1																										
2																										

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		мы контрольно-измерительных приборов. Из водопровода через вентиль 5 вода заливается в парогенератор, где с помощью электронагревателя 17 она превращается в пар. Далее через вентиль 4 пар поступает в барабан парогенератора 8. Парогенератор снабжен предохранительным клапаном 3, который отрегулирован на давление 0,22-0,24 МПа. Для слива конденсата из барабана котла в воронку имеется специальный сливной кран 9. Из барабана котла влажный насыщенный пар выходит через дроссельный вентиль 10. Вентиль 11 служит для поддержания в системе некоторого избыточного давления. Сдросселированный пар проходит через конденсатор поверхностного охлаждения 16 и образовавшийся конденсат собирается в мерном цилиндре 18. В установке используются контрольно-измерительные приборы, служащие для определения температуры (милливольтметр) и давления пара на различных участках, а также мощности трубчатого электронагревателя (электросчетчик). Для измерения времени накопления конденсата в мерном цилиндре 18 служит секундомер. Рис. 2. Схема лабораторной установки: 1 – парогенератор; 2 – водоуказательная колонка; 3 – предохранительный клапан; 4 – вентиль для подачи пара; 5 – вентиль для заполнения парогенератора водой; 6 – дренажный вентиль; 7 – воронка для слива конденсата из барабана; 8 – барабан парогенератора; 9 – вентиль для слива конденсата; 10 – дроссельный вентиль; 11 – вентиль для регулирования давления; 12, 13 – образцовые манометры; 14 – манометр электроконтактный; 15 – термопары (ХА); 16 – конденсатор; 17 – электронагреватель; 18 – мерный цилиндр; 19 – счетчик расхода электроэнергии <i>Лабораторная работа №1</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КПД КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА Цель работы: экспериментальное изучение КПД котла методом прямого теплового баланса. План выполнения работы 1. Перед выполнением работы необходимо внимательно ознакомиться с оборудованием установки. Закрыть все краны и вентили. Залить парогенератор водой до определенного уровня. Конденсатор подсоединить к проточной воде. Подставить под конденсатор емкость для сбора конденсата. 2. Открыть вентиль 4 и включить электронагреватель 17. 3. При достижении заданной величины давления пара в парогенераторе постепенно начать открывать вентили 10 и 11 так, чтобы прекратились пульсации давления на выходе из барабана парогенератора и за дроссельным клапаном. 4. Открыть дроссельный вентиль 10 так, чтобы давление после него стало 0,05 МПа. После достижения уста-

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		новившегося режима можно приступить к измерениям. 5. Поставить под конденсатор 16 мерную колбу 18 и одновременно засечь время. Записать показания счетчика расхода электроэнергии. 6. Измерять давление и температуру на выходе из барабана и перед дроссельным вентилем через каждые 60 с. Через 3 мин после начала измерений определить массу конденсата в мерной колбе. 7. Записать показания счетчика расхода электроэнергии. 8. Повторить измерения 3 раза. По заданию преподавателя установить на контактном манометре новое значение давления и повторить замер. 9. Записать показания водоуказательной колонки парогенератора в начале и в конце каждой серии замеров. 10. Поддерживать на одном и том же уровне (0,05 МПа) давление в системе после дроссельного вентиля. 11. Перед оформлением отчета перевести показания милливольтметра в градусы Цельсия при помощи стандартной тарировочной таблицы. 12. Составить прямой тепловой баланс и найти тепловые потери парогенератора и КПД для исследуемых режимов. 13. Настроить зависимость паропроизводительности D парогенератора от удельной электрической мощности $N_э/M_{ж}$ и КПД парогенератора от паропроизводительности, где $N_э$ — электрическая мощность парогенератора, кВт; $M_{ж}$ — средняя масса жидкости в парогенераторе во время каждой серии экспериментов, определяемая по водоуказательной колбе, кг. 14. Определить потери теплоты парогенератором расчетным путем, сопоставив с величиной потерь, найденных из теплового баланса, определить величину невязки. Расчетная часть 1. Полезные затраты тепла $Q_n = G_n * i_n \quad (10)$ где $G_n = G_k$ — расход пара, кг/с; i_n — энтальпия пара при давлении P перед редукционным клапаном, кДж/кг; G_k — расход конденсата, кг/с. 2. Полные затраты тепла, кВт,

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		$Q_3 = \frac{Q_3 - Q_3}{\tau} \quad (11)$ $Q_3 \cdot Q_3$ — расход электроэнергии по показаниям счетчика, кВт*ч; τ — время эксперимента, ч. 3. Количество тепла, теряемое парогенератором в окружающую среду, для промышленных котельных установок определяется по номограммам в зависимости от производительности котла. Для лабораторного парогенератора $Q_{\text{потерь}} = \alpha * \Delta t * F \quad (12)$ где α - коэффициент теплоотдачи для условий свободной конвекции, кВт/м²*°С; $\Delta t = t_c + t_s$, t_c — средняя температура стенки парогенератора, °С; t_s — температура воздуха вдали от парогенератора, °С; F — поверхность теплообмена $F = F_n + F_b$; F_n — поверхность парогенератора; F_b — поверхность барабана. Для нахождения α используется критериальное уравнение $Nu = C * (Gr * Pr)^n$ где $Gr = g\beta * \Delta t * d^3 / \nu^2$ — критерий Грасгофа; $Pr = \nu / a$ — критерий Прандтля. Значения кинематической вязкости ν, м²/с, температурного коэффициента объемного расширения β, °С⁻¹, коэффициента теплопроводности a, м²/с, и коэффициента теплопроводности воздуха λ Вт/м*°С, принимаются при средней температуре $t = 0.5(t_c + t_s)$ по формулам: $\nu = (5.1 * 10^{(-5)} t^2 + 0.115 t + 13.2) * 10^{(-6)}; \beta = 1.37 * 10^{(-8)} t^2 - 1.45 * 10^{(-5)} t + 0.0047;$ $a = (7.71 * 10^{(-6)} t^2 + 0.015 t + 1.76) * 10^{(-5)}; \lambda = -2.58 * 10^{(-9)} t^2 + 7.86 * 10^{(-5)} t + 0.023.$ В диапазоне значений произведения $10^3 < Gr * Pr < 10^9$ коэффициент C в уравнении (13) аппроксимируется уравнением $C = 1.54 * 10^{(-4)} Pr^3 - 0.017 Pr^2 + 0.181 Pr + 0.971, \quad (14)$ а степень $n = 0,25$. Коэффициент теплоотдачи для условий свободной конвекции определяется по уравнению $\alpha = Nu * \lambda / D_{cp} \quad (15)$, где $D_{cp} = d$ — средний диаметр парогенератора и барабана. Определить потери тепла для двух условий: при температурах $t_s = 10$ °С и $t_c = 50$ °С, а также при $t_s = 25$ °С и $t_c = 80$ °С.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		4. Определить удельную электрическую нагрузку парогенератора $N_{уд} = N_э / M_с \quad (16)$ где $N_э$ — электрическая мощность парогенератора, кВт; $M_с$ — масса нагреваемой воды, кг. Порядок оформления отчет Отчет по работе должен содержать следующее: 1) название и цель работы; 2) краткий конспект теоретического введения; 3) описание схемы установки; 4) порядок выполнения работы; 5) результаты измерений и расчетов (см. приложение); б) выводы по работе (объяснить полученные зависимости). Лабораторная работа №2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД КОТЛА И РАСХОДА ТОПЛИВА Цель работы: изучение методики ускоренного расчета парового котла на основе экспериментальных данных. План выполнения работы Электрическая мощность котла принимается из лабораторной работы N2 в диапазоне $N_{эл} = 6-9$ кВт. Паро-производительность по насыщенному пару для электрокотла с КПД $\eta_{эл}$ равна: $D_n = N_{эл} \eta_{эл} / (i_n - i_{нс})$, где i_n и $i_{нс}$ — энтальпии сухого насыщенного пара и питательной воды, кДж/кг, на кривой насыщения при давлении $P = 0,2$ МПа и температуре 120 °С. Необходимо определить расчетный расход топлива B_p для эквивалентного по паропроизводительности топливного котла. Исходные данные для расчета: вид сжигаемого топлива- каменный уголь Кузнецкого месторождения (марки 2СС); низшая теплота сгорания- $Q_n^p = 24,6$ МДж/кг; основные компоненты рабочей массы, %: $C^p = 64,1$; $H^p = 3,3$; $A^p = 18,2$; $W^p = 9,0$; температура топлива $t_t = 200$ °С; подогрев воздуха $t_{подс} = 350$ °С; температура холодного воздуха $t_{хс} = 20$ °С; температура уходящих газов $\vartheta_{yx} = 130$ °С; коэффициент избытка воздуха в уходящих газах $\alpha_{yx} = 1,4$; объемы компонентов продуктов сгорания, м³/кг: трехатомных газов $V_{RO2} = 1,2$, азота $V_{N2} = 5,16$; доли золы в шлаке и уносе, определяемые взвешиванием и из золowego баланса ($a_{шт} + n = 1$) - $a_{шт} = 0,2$ и $a_{yn} = 0,8$; теплоемкость шлака при его температуре $t_{шт} = 1380$ °С - $C_{шт} = 2,42 \cdot 10^{-4} t_{шт} + 0,79$ [кДж/(кг*К)]; содержания горючих соответственно в шлаке и уносе, определяемые взвешиванием и дожиганием лабораторных проб: $G_{шт} = 30$ % и $G_{yn} = 50$ %; объемное содержание продуктов неполного сгорания в уходящих газах, %: $CO = 0,5$, $H_2 = 0,3$, $CH_4 = 0,1$.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Расчет проводится по методике ускоренного теплового расчета котла [4]: 1. Теоретически необходимый расход воздуха, м³/кг: $V_s^o = 0,263Q_p^o + 0,007W^p = 0,0889C^p + 0,265H^p = Q_p^o / 3,7$; где W в МДж/кг. 2. Коэффициент, учитывающий различие низшей и располагаемой теплоты сгорания топлива: $k_q = 1 + (0,055t_T + 0,35\Delta t_{подс.с.}) \cdot 10^{(-3)}$. 3. Располагаемая теплота, МДж/кг: $Q_p^p = k_q Q_p^o$. 4. Энтальпия теоретического объема воздуха, кДж/кг: $(VC)_s^o = V_s^o \cdot 100[1,32 + 0,122(\vartheta_{yx} \cdot 10^{-3} - 0,1)]$. 5. Потери теплоты с уходящими газами, %: $q_2 = (VC)_s^o \vartheta_{yx} \{a_{yh} [1 - (t_{xs}/\vartheta_{yx})](\alpha_{yx} - 1)\} / Q_p^p$, где Q_p^p в кДж/кг. 6. Потери теплоты (недожог) от механической неполноты сгорания, %: $q_4 = \{[a_{шт} \Gamma_{шт} / (100 - \Gamma_{шт})] + [a_{yh} \cdot \Gamma_{yh} / (100 - \Gamma_{yh})]\} \cdot 32,7 \cdot A^p \cdot 100 / Q_p^p$, где Q_p^p в кДж/кг. 7. Объем сухих газов (м³/кг): $V_{сз} = V_{RO2} + V_{N2}^o + (\alpha_{yx} - 1) V_s^o$ 8. Потери теплоты (недожог) от химической неполноты сгорания топлива, %: $q_3 = (126,4C_0 + 108H_2 + 3 \cdot 58,2CH_4) V_{сз} (100 - q_4) 100 / Q_p^p$, где Q_p^p в Дж/кг. 9. Потери теплоты в окружающую среду, %, в зависимости от номинальной нагрузки D_H, кг/с: $q_{5H} = 3,6 \cdot 10^{(-11)} D_H^6 - 1,47 \cdot 10^{(-8)} D_H^5 + 2,28 \cdot 10^{(-6)} D_H^4 - 1,72 \cdot 10^{(-4)} D_H^3 + 0,68 \cdot 10^{(-2)} D_H^2 - 0,1 D_H + 0,001$ 10. Потери теплоты в окружающую среду при ненормальной нагрузке D: $q_5 = q_{5H} D_H / D$ 11. Потери теплоты с физической теплотой шлака: $q_6 = a_{шт} A^p C_{шт} t_{шт} / Q_p^p$, где Q_p^p в кДж/кг. 12. КПД котла брутто, %: $\eta_k^{bp} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$ 13. Коэффициент сохранения теплоты $\varphi = \{1 - \frac{q_5}{\eta_k^{bp} + q_5}\}$ 14. Расход топлива, подаваемого в топку B, кг/с: $B = \frac{Q_k^{100}}{Q_p^p \eta_k^{bp}} = 2,56 D_H \left(\frac{10}{P_H}\right)^{0,175} / (Q_p^p \eta_k^{bp})$ 15. Расчетный расход топлива B_p, кг/с: $B_p = B [1 - (q_4/100)]$. Порядок оформления отчета Отчет по работе должен содержать следующее: 1) название и цель работы; 2) краткий конспект теоретического введения; 3) описание схемы установки; 4) порядок выполнения работы; 5) результаты измерений и расчетов (см. приложение); 6) выводы по работе

Структур- ный эле- мент компетен- ции	Планируемые ре- зультаты обуче- ния	Оценочные средства																															
		(объяснить полученные зависимости). КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 1. Как составляется тепловой баланс и находится КПД парового котла? 2. Как определяются тепловые потери котла? 3. Что такое КПД брутто и КПД нетто котла? 4. Объяснить методологию прямого и обратного теплового баланса. Приложение Таблица П1 Результаты экспериментального исследования парогенератора <table><tr><th>Номер серии замеров</th><th>Время опыта τ, мин</th><th>Среднее дав- ление в паро- генераторе Р, МПа</th><th>Давление пара перед дроссельным вентилем P_H, МПа</th><th>Температура пара t_p, °С</th><th>Энтальпия пара i_p, кДж/кг</th><th>Расход конденсата G_k, кг/с</th><th>Расход элек- троэнергии $Q_{э'}$ $Q_{э''}$, кВт*ч кВт*ч</th></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> Таблица П2 Тепловые характеристики парогенератора								Номер серии замеров	Время опыта τ , мин	Среднее дав- ление в паро- генераторе Р, МПа	Давление пара перед дроссельным вентилем P_H , МПа	Температура пара t_p , °С	Энтальпия пара i_p , кДж/кг	Расход конденсата G_k , кг/с	Расход элек- троэнергии $Q_{э'}$ $Q_{э''}$, кВт*ч кВт*ч	1								2							
Номер серии замеров	Время опыта τ , мин	Среднее дав- ление в паро- генераторе Р, МПа	Давление пара перед дроссельным вентилем P_H , МПа	Температура пара t_p , °С	Энтальпия пара i_p , кДж/кг	Расход конденсата G_k , кг/с	Расход элек- троэнергии $Q_{э'}$ $Q_{э''}$, кВт*ч кВт*ч																										
1																																	
2																																	

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания.

Критерии оценки (в соответствии с формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения):

на оценку «зачтено» - обучающийся должен показать уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений;

на оценку «не зачтено» – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Гиль, А.В. Расчет пароперегревателя и низкотемпературных поверхностей нагрева паровых котлов : учебно-методическое пособие / А.В. Гиль; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - 136 с. Режим доступа: URL: <https://znanium.com/catalog/product/1043892>
2. Клименко А.В., Теплоэнергетика и теплотехника Кн. 3. Тепловые и атомные электростанции / Клименко А.В. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011706.html>

б) дополнительная литература:

1. Лебедев, В.М. Тепловой расчет котельных агрегатов средней паропроизводительности [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.М. Лебедев, С.В. Приходько. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 212 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/91071/#1>
2. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика: энергетическое оборудование. В 2 ч. Часть 1 : справочник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Э. А. Киреева. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 222 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03275-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453448>
3. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика: энергетическое оборудование. В 2 ч. Часть 2 : справочник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Э. А. Киреева. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 371 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03276-5. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453477>

в) методические указания:

1. Морозов, А.П. Исследование аэродинамики котельного агрегата на модели [Текст]: метод.указания к выполнению лаб. работы / А.П. Морозов. - Магнитогорск: МГТУ, 2013. 8 с.
2. Морозов, А.П. Определение КПД котельного агрегата методом обратного теплового баланса [Текст]: метод.указания к выполнению лаб. работы / А.П. Морозов. -Магнитогорск: МГТУ, 2013. 5 с.

г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
Стандартные		
Microsoft Windows 7	Д-1227 от 08.10.2018	11.10.2021
Microsoft Office 2007	№135 от 17.09.2007	Бессрочно
7Zip	Свободно распространяемое	бессрочно
FAR Manager	Свободно распространяемое	бессрочно
Дополнительные		
Microsoft Windows 10 Pro	Д-1227 от 8.10.2018	11.10.2021

1. Федеральный институт промышленной собственности : сайт РОСПАТЕНТА / ФИПС. – Москва : ФИПС, 2009 – . – URL: <http://www1.fips.ru/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
2. Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) : национальная библиографическая база данных научного цитирования. – Текст: электронный // eLIBRARY.RU : научная

- электронная библиотека : сайт. – Москва, 2000 – . – URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. Академия Google (Google Scholar) : поисковая система : сайт. – URL: <https://scholar.google.ru/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
 4. Единое окно доступа к информационным ресурсам : электронная библиотека : сайт / ФГАУ ГНИИ ИТТ "ИНФОРМИКА". – Москва, 2005. – . – URL: <http://window.edu.ru/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 5. East View Information Services : Электронная база периодических изданий / ООО «ИВИС. – URL: <https://dlib.eastview.com/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.
 6. Российская Государственная библиотека. Каталоги : сайт / Российская государственная библиотека. – Москва : РГБ, 2003 – . URL: <https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 7. Электронная библиотека МГТУ им. Г. И. Носова. – URL: <http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход с внешней сети по логину и паролю). – Текст: электронный.
 8. Университетская информационная система РОССИЯ : научная электронная библиотека : сайт / НИВЦ ; Экономический факультет МГУ. – Москва : НИВЦ, 1997 – . – URL: <https://uisrussia.msu.ru> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 9. Web of science : Международная наукометрическая реферативная и полнотекстовая база данных научных изданий : сайт. – URL: <http://webofscience.com> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
 10. Scopus : Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий : сайт. – URL: <http://scopus.com> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
 11. Springer Journals : Международная база полнотекстовых журналов : сайт. – URL: <http://link.springer.com/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
 12. Springer Protocols : Международная коллекция научных протоколов по различным отраслям знаний : сайт. – URL: <http://www.springerprotocols.com/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
 13. SpringerMaterials : Международная база научных материалов в области физических наук и инжиниринга : сайт. – URL: <http://materials.springer.com/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
 14. Springer Reference : Международная база справочных изданий по всем отраслям знаний: сайт. – URL: <http://www.springer.com/references> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
 15. zbMATH : Международная реферативная база данных по чистой и прикладной математике : сайт. – URL: <http://zbmath.org/> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
 16. Springer Nature : Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий : сайт. – URL: <https://www.nature.com/siteindex> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
 17. Архив научных журналов : сайт / Национальный электронно-информационный консорциум. – Москва : НЭИКОН, 2013 – . – URL: <https://archive.neicon.ru/xmlui/> (дата об-

- ращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (вход по IP-адресам вуза). – Текст: электронный.
18. eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека : сайт. – Москва, 2000 – . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 09.01.2018). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
 19. РУКОНТ : национальный цифровой ресурс : межотраслевая электронная библиотека : сайт / консорциум «КОТЕКСТУМ». – Сколково, 2010 – . – URL: <https://rucont.ru> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст: электронный.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.
Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Доска, мел.
Учебные аудитории, помещения для самостоятельной работы обучающихся	Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования	Стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования Инструменты для ремонта лабораторного оборудования