

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ «БЕЛЭНЕРГО»  
УО «МИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор УО «МГЭК»  
А.А. Новиков  
« 16 » 12 20 20 г.

## КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ТЭС

Методические указания по выполнению домашней контрольной работы  
для учащихся заочной формы получения образования

### 2-43 01 04 «Тепловые электрические станции»

(шифр и название специальности)

Авторский коллектив

_____	<u>В.И. Николаев</u> (ФИО)
<u>З.М. ...</u> (подпись)	<u>М.А. Захаркин</u> (ФИО)
<u>...</u> (подпись)	<u>Ю.П. Плеско</u> (ФИО)
<u>...</u> (подпись)	<u>Е.С. Сухова</u> (ФИО)

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии  
специальных теплотехнических дисциплин

(наименование цикловой комиссии)

Протокол № 4 от 26.11 2020 г.

Председатель цикловой комиссии

_____	<u>Ю.П. Плеско</u> (ФИО)
<u>...</u> (подпись)	

Согласовано  
Методист колледжа

_____	<u>О.В. Какорина</u> (ФИО)
<u>...</u> (подпись)	

Заведующий заочным отделением

_____	<u>А.А. Куцов</u> (ФИО)
<u>...</u> (подпись)	

## Содержание

1 Пояснительная записка.....	3
2 Краткое содержание программы.....	5
3 Общие требования по оформлению домашней контрольной работы .....	6
4 Методические указания по выполнению домашней контрольной работы....	8
5 Задания для домашних контрольных работ .....	49
6 Оценка результатов учебной деятельности при выполнении домашней контрольной работы.....	555
7 Литература .....	566

## 1 Пояснительная записка

Методические указания по изучению учебной дисциплины «Котельные установки ТЭС» и выполнению домашней контрольной работы разработаны в соответствии с образовательным стандартом среднего специального образования для специальности 2-43 01 04 «Тепловые электрические станции».

Дисциплина «Котельные установки ТЭС» является частью профессионального компонента цикла общепрофессиональных дисциплин.

Цели изучения учебной дисциплины «Котельные установки ТЭС»:

***обучающая:***

- формирование знаний об организации эксплуатации котельного оборудования;
- формирование навыков и умений по составлению режимной карты работы котла, мероприятий по снижению загрязнения окружающей среды;
- формирование представления о типах теплотехнических испытаний котлов и наладки его работы, организации и видах ремонтных работ;

***воспитательная:***

- формирование стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;
- формирование убеждения социальной значимости своей будущей профессии;

***развивающая:***

- способствовать развитию умения выделять главное, обобщению и анализу восприятия информации, постановке целей и выбору путей их достижения;
- формировать компетенции по котельным установкам;
- способствовать профессиональному и личностному развитию.

Программой предмета «Котельные установки ТЭС» предусматривается изучение основного и вспомогательного оборудования котельного отделения котлотурбинного цеха и оборудование топливно-транспортного цеха ТЭС.

Изучение материала предмета следует вести с учетом современных достижений науки и техники в области котлостроения, необходимо обращать внимание на физическую сущность теоретических вопросов и их практическое применение, рассматривать не только принцип работы и конструктивное выполнение оборудования, но и давать оценку качества его с учетом надежности и экономичности.

В целях всестороннего изучения материала предмета учебным планом предусмотрено выполнение контрольных работ, практических работ и

курсового проекта.

В результате изучения данной учебной дисциплины учащиеся должны знать принцип работы и конструкции котлов и их вспомогательного оборудования, устанавливаемых на современных ТЭС; должны уметь оценивать качество оборудования с учетом его надежности, экономичности, безопасности эксплуатации и себестоимости вырабатываемой продукции; должны уметь производить выбор оборудования и технологической схемы его включения при проектировании ТЭС.

В методических указаниях учебной дисциплины «Котельные установки ТЭС» приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся по дисциплине, разработанные на основе десятибалльной шкалы и показателей оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях, обеспечивающих получение среднего специального образования (постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29 марта 2004 г. №17).

## **2 Краткое содержание программы**

Учебная дисциплина «Котельные установки ТЭС» изучается в соответствии с учебным планом и программой в количестве 194 часа.

**Введение.** Цели и задачи дисциплины, ее характеристика и связь с другими специальными дисциплинами.

### **Раздел 1 Топливо и топки.**

Тема 1.1 Классификация топлива и его технические характеристики.

Тема 1.2 Продукты сгорания топлива.

Тема 1.3 Тепловой баланс котельной установки.

Тема 1.4 Топливоподача и приготовление твердого топлива.

Тема 1.5 Доставка и подготовка к сжиганию жидкого и газообразного топлива.

Тема 1.6 Элементы теории горения.

Тема 1.7 Конструкции топок.

### **Раздел 2 Котельные установки электростанций**

Тема 2.1 Основы гидродинамики котлов и температурный режим поверхностей нагрева.

Тема 2.2 Парогенерирующие поверхности нагрева и устройства.

Тема 2.3 Пароперегреватели.

Тема 2.4 Низкотемпературные поверхности нагрева.

Тема 2.5 Методика теплового расчета котла.

Тема 2.6 Металлы котлостроения. Расчет на прочность основных элементов котлов.

Тема 2.7 Каркас и обмуровка котлов. Гарнитура.

Тема 2.8 Конструкции котлов ТЭС.

Тема 2.9 Водопаровой тракт котла.

Тема 2.10 Газовоздушный тракт котла и его оборудование. Основы аэродинамического расчета.

Тема 2.11 Золошлакоудаление

Тема 2.12 Котлы АЭС.

### **3 Общие требования по оформлению домашней контрольной работы**

В соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 «ЕСКД. Требования к оформлению текстовых документов» оформление домашней контрольной работы должно осуществляться по следующим правилам: все части пояснительной записки следует излагать только на одном из государственных языков – белорусском или русском.

На лицевой части работы помещается наклейка установленного образца. В наклейке обязательно заполняются все графы, фамилия имя отчество пишется полностью.

**При выполнении контрольных работ необходимо руководствоваться следующими требованиями.**

1. Контрольные вопросы и условия задач контрольной работы обязательно переписываются по порядку, без сокращений. На каждый переписанный вопрос сразу же дается краткий и исчерпывающий ответ.

2. В ответах на контрольные вопросы и при решении задач необходимо придерживаться терминов и значений, принятых в [4], [5], [9], [10], [17].

3. В тетради необходимо нумеровать страницы, оставлять поля для замечаний рецензента, а в конце работы 1,2 страницы для рецензии.

4. Решение задач следует пояснять кратким описанием.

5. Формулы выписывать в общем виде, а затем расшифровывать их (указывать принятые в них обозначения, делать ссыпки на литературу, из которой взята формула и численные значения входящих в нее величин) после этого подставлять в формулу численные значения.

6. Для рассчитываемых величин обязательно проставлять размерности.

7. При решении контрольных задач рекомендуется использовать [4], [5], [18].

8. Обязательно указывать перечень литературы, использованной при выполнении контрольной работы.

9. В конце контрольной работы учащийся должен поставить дату выполнения и личную подпись.

Домашняя контрольная работа может быть выполнена рукописно в отдельной тетради «в клеточку» с пронумерованными страницами и отведенными полями шириной 30 мм. Возможно выполнение работы на компьютере и отпечатанный текст на белой бумаге формата А4 с одной стороны листа. Оформление работы должно быть единообразным, с соблюдением следующих типографических требований:

- поля: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм;
- шрифт текста размером 14 пт., гарнитурой Times New Roman;

- шрифт заголовков (все прописные), подзаголовков 16 пт., гарнитурой Times New Roman;

- межстрочный интервал – полуторный;

- отступ красной строки – 1,25;

- номера разделов, подразделов, пунктов и подпунктов следует выделять полужирным шрифтом;

- разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определённых терминах, формулах, теоремах, применяя шрифты разной гарнитуры;

- выравнивание текста – по ширине, перенос слов не допускается.

При делении вопроса на пункты и подпункты необходимо, чтобы каждый пункт содержал законченную информацию.

Вопросы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки. Наименование вопросов следует располагать по центру строки без точки в конце, прописными буквами жирным начертанием, отделяя от текста одной пустой строкой.

## 4 Методические указания по выполнению домашней контрольной работы

### **ВВЕДЕНИЕ**

Значение изучаемого предмета его связь с другими специальными предметами. Содержание предмета.

Роль ТЭЦ в производстве электроэнергии. Значение котельной установки. Классификация котлов, технологическая схема производства пара. Схема котельной установки. Принцип работы и назначение отдельных элементов установки. Параметры котлов современных ТЭС. Сверхкритические параметры пара.

### *Методические указания*

Большая и все возрастающая роль теплосиловых установок в энергетике определяет значение данного предмета в системе подготовки техника-теплоэнергетика.

Теоретической базой для изучения являются предметы «Теоретические основы теплотехники» и «Гидравлика и насосы».

Учащийся должен уяснить связь изучаемого предмета с другими специальными дисциплинами.

При изучении материала следует обратить внимание на роль ТЭС в энергобалансе страны.

Учащийся должен знать, что одним из основных элементов всякой паротурбинной установки является котлоагрегат для выработки пара.

Необходимо четко представлять технологическую схему производства пара, принцип работы и назначение элементов котлоагрегата.

Учащийся должен знать классификацию энергетических котлов и их основные характеристики (параметры, паропроизводительность, коэффициент полезного действия, чистота пара, показатели надежности).

[2], (с. 5-18); [3], (с. 9-19); [7], (с. 7-15).

### *Вопросы для самопроверки*

1. Изобразите простейшие тепловые схемы КЭС и ТЭЦ и объясните значение элементов каждой схемы.
2. Изобразите технологическую схему производства пара и объясните назначение составляющих ее элементов.
3. Уяснили ли вы разницу между понятиями «котел» и «котельная установка»? В чем заключается отличие?
4. Перечислите комплекс процессов, протекающих в элементах котельной установки определяющих их работу.



5. Назовите типы котлоагрегатов по принятой классификации и укажите их отличительные особенности,
6. Назовите основные характеристики современных котлов. Дайте классификацию котлов по параметрам пара.
7. Из каких элементов складываются показатели надежности работы котла?

## **Раздел 1. Топливо и топки**

### **Тема 1. Классификация топлива и его техническая характеристика**

Топливо, как источник для производства электроэнергии.

Виды топлива. Энергетическое топливо, его состав. Понятие о рабочей, сухой, горючей и органической массе топлива. Уравнения состава топлива. Формулы перехода от однородного состава топлива к другому.

Содержание углерода, водорода, азота и кислорода в топливе, его влияние на качество топлива.

Влияние содержания золы и влаги на качество топлива и работу котла. Химический состав золы. Температурные характеристики золы и их влияние на работу котла.

Содержание серы в топливе, ее влияние на износ оборудования котельной установки.

Выход летучих горючих, и их влияние на сжигание топлива. Состав летучих веществ. Коксовый остаток.

Понятие о высшей и низшей теплоте сгорания топлива.

Способы определения теплоты сгорания топлива, эмпирические формулы. Условное топливо.

Понятие о происхождении твердого топлива и характеристики бурых углей, каменных углей и антрацитов, их основные месторождения и классификация. Влияния организации добычи, транспорта и хранения на качество топлива. Самовозгорание топлива и методы борьбы с ним.

Жидкое топливо. Сорта мазута, сжигаемого в котлах. Состав и технические характеристики мазута.

Газообразное топливо. Виды газообразного топлива.

Топливные ресурсы СНГ. Структура топливного баланса СНГ в настоящее время тенденция к изменению.

### ***Методические указания***

Поскольку физико-химические свойства и вид топлива предопределяет способ его сжигания, конструкцию топок, топливоподачу и компоновку станции, поэтому необходимо хорошо усвоить данную тему.

Материалы темы в достаточном объеме изложен в [2], (с. 5-18); [3], (с. 9-19); [7], (с. 7-15).

Учащийся должен знать основные характеристики энергетического топлива, свободно производить пересчеты элементарного состава топлива и теплоты сгорания с одной массы на другую, определять теплоту сгорания высшую и низшую, производить пересчеты с натурального топлива на условное и наоборот, знать приведенные характеристики топлива и уяснить их назначение.

Изучая данную тему, следует оценить влияние балласта топлива и уяснить их значение.

Изучая данную тему, следует оценить влияние балласта топлива на его качество и работу котельной установки; выяснить влияние температурных характеристик золы и серы, содержащихся в топливе, на работу котельной установки; необходимо четко представлять влияние выхода летучих на организацию топочного процесса, выбор объема топочной камеры и эффективность (полноту) сжигания топлива.

Учащийся должен изучить основные месторождения органического топлива и уяснить, что в соответствии с планируемой выработкой электрической энергии количество сжигаемого топлива непрерывно возрастает, но структура топливного баланса претерпевает большие изменения в сторону систематического снижения доли твердого топлива и увеличения доли сжигания мазута и природного газа что объясняется технико-экономическими преимуществами использования этих видов топлив.

[2], (с. 20-35); [3], (с. 28-45); [4], гл.2; [7], (с. 16-29).

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что называется топливом?
2. Какие виды топлива используются в современной энергетике?
3. Напишите элементарный состав топлива на органическую, горючую, сухую, аналитическую и рабочую массу. Напишите формулы пересчета состава топлива с одной массы на другую.
4. Укажите элементы из которых состоит внутренний и внешний балласт топлива. Каково влияние балласта на качество топлива и работу котельной установки?
5. Почему важно знать температурные характеристики золы?
6. Почему выход летучих является одной из важнейших характеристик топлива?
7. Какая сера встречается в топливе? Почему нежелательно ее присутствие?

8. Что такое высшая и низшая теплота сгорания топлива и каковы способы ее определения?

9. Что называется условным топливом?

10. Для чего применяются приведенные характеристики топлива? Напишите формулы для их определения.

11. По каким признакам классифицируется твердое топливо?

12. Чем отличаются бурые и каменные угли друг от друга?

13. Какое влияние оказывают способы добычи, транспорта и хранения топлива на его качество?

14. Какие сорта мазута сжигаются в энергетических котлах?

15. Какие свойства мазута и газа являются их техническими характеристиками и почему их нужно знать?

Задача 1. Для бурого угля произвести пересчет элементарного состава топлива с горючей массы на рабочую если  $C^r=72\%$   $H^r=4,1\%$ ;  $N^r=0,8\%$ ;  $O^r=72\%$ ;  $S^r_{op}+S^r_k=0,8\%$ ;  $W^p=39$ ;  $A^c=12\%$ .

Задача 2. Для заданного в задаче 1 топлива определить  $Q^p_n$  по формуле Менделеева и с пересчетом  $Q^r_n$ , если  $Q^r_n=26397$  кДж/кг. Для тех же условий определить приведенные характеристики топлива.

$A^n$ ,  $W^n$  и  $S^n$ .

Задача 3. Определить элементарный состав указанного в задаче I бурого угля после подсушки с влажности  $W^p_1=39,0\%$  до влажности  $W^p_2=33,0\%$

Задача 4. В топке котла за смену сжигается 400 т. мазута с теплотой сгорания  $Q^p_n=30548$  кДж/кг. Определить расход условного топлива за час.

## **Тема 1.2. Продукты сгорания топлива.**

Реакции горения элементов топлива. Полное и неполное сгорание топлива. Состав дымовых газов при полном и неполном сгорании.

Теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива. Коэффициент избытка воздуха и его значение для организации правильного и экономичного горения. Зависимость коэффициента избытка воздуха от типа топочных устройств и вида топлива. Определение объема дымовых газов при сжигании 1 кг твердого и жидкого топлива и 1 м<sup>3</sup> газа. Определение коэффициента избытка воздуха в продуктах сгорания по данным анализа дымовых газов.

Парциальные давления трехатомных газов и водяных паров. Подсчет энтальпии дымовых газов  $h^g$  диаграмма.

### **Методические указания**

Горение представляет реакцию соединения горючих элементов топлива с окислителем при высокой температуре, сопровождающуюся интенсивным

выделением тепла. В качестве окислителя в котельных установках используется кислород воздуха.

При сжигании топлива образуются газообразные продукты горения, состав которых зависит от природы топлива, способа сжигания и умения персонала, обслуживающего котлоагрегаты.

При изучении темы необходимо научиться определять количество воздуха, потребное для сгорания топлива, и количество продуктов сгорания (дымовых газов), знать процессы горения горючей части топлива и состав дымовых газов.

Необходимо также знать влияние присосов воздуха на работу котлоагрегата и способы уменьшения их величины, знать методы определения коэффициентов избытка воздуха по газоходам котла по данным анализа дымовых газов.

Учащийся должен научиться выбирать величины коэффициентов избытка воздуха в топке и присосов воздуха по газоходам при проектировании котлоагрегата, уметь подсчитывать энтальпию дымовых газов и представлять ее аналитическое выражение в виде  $h\theta$  - диаграммы, изображающей зависимость энтальпии от температуры при выбранных для каждого газохода значениях коэффициента избытка воздуха.

[2], (с. 80-86); [3], (с. 32-37); [4], гл.4; [7], (с. 30-35), [18].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что понимается под горением?
2. Напишите реакции горения углерода, водорода и серы.
3. Как подсчитать теоретическое количество воздуха, необходимого для сжигания 1 кг твердого или жидкого топлива и 1  $\text{м}^3$  газа?
4. Напишите формулу для определения йодного количества дымовых газов (по объему), полученных при полном сгорании 1 кг топлива и коэффициента избытка воздуха  $\alpha \geq 1$ .
5. Что называется, коэффициентом избытка воздуха и от чего он зависит?
6. Напишите формулы для коэффициента избытка воздуха для случаев механически и химически полного и не полного сгорания топлива.
7. Как устроен и работает газоанализатор? Какие методы и приборы газового анализа вы знаете?
8. Почему считается более правильным метод контроля работы топочных устройств и газоходов по содержанию кислорода, а не  $\text{CO}_2$ ?
9. Как подсчитать теплосодержание продуктов сгорания в дымовых газах при  $\alpha > 1$ ?
10. Всегда ли учитывается при определении теплосодержания дымовых

газов теплосодержание золы?

Задачи 1. Определить количество воздуха, необходимого для сжигания 1 кг Экибастуэского угля марки СС, имеющего состав:

$$W^P=8,0\%, A^P=36,8\%, S^P_{op+k}=0,8\%, C^P=44,2\%$$

$$H^P=2,9\%, N^P=0,8\%; O^P=6,5\% \text{ при } \alpha=1, \text{ и } \alpha=1,2.$$

Задача 2. Определить количество воздуха необходимого для сжигания 1 м<sup>3</sup> природного газа, имеющего состав:

$$CH_4=68,5\%; C_2H_6=14,5\%; C_3H_8=7,6; C_4H_{10}=3,5\%; C_5H_{12}=1\%; N_2=3,5\%; CO_2=1,4\%: \text{ при } \alpha=1 \text{ и } \alpha=1,05$$

Задача 3. Определить вес и объемы продуктов сгорания, полученных при полном сгорании 1 кг сланцев состава:

$$W^P = 15,0\%, A^P=(37,4+13,8)\%, S^P_{op+k} = 1,5\%, C^P=25\%$$

$$H^P=3,2\%, N^P = 0,1\%, O^P = 4\% \text{ при } \alpha = 1,3.$$

Примечание. В состав  $A^P$  входят; в первое слагаемое – зола, во второе – углекислота карбонатов.

Задача 4. По составу дымовых газов, полученному с помощью газоанализатора ОРСа, определить коэффициент избытка воздуха и степень химической неполноты сгорания ( $CO, \%$ ) если  $RO_2=11,8\%, RO_2 + O_2=19,6\%$  Топливо (см. задачу 1).

$$\beta = 2,37 \frac{H^P + \frac{O^P}{8}}{C^P + 0,375 \times S^P_{op+k}}$$

Задача 5. По условию задачи 3 определить энтальпию дымовых газов при температурах  $\vartheta=1100^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta=1000^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta=900^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta=800^\circ\text{C}$  и построить график  $h\vartheta$ .

### Тема 1.3. Тепловой баланс котельной установки.

Понятие о тепловом балансе котельной установки. Определение полезно использованного тепла в котлоагрегате. Коэффициенты полезного действия котельной установки (брутто и нетто). Определение часового расхода топлива.

Потеря тепла с уходящими газами  $q_2$ , ее определение. Влияние избытка воздуха и чистоты поверхностей нагрева на величину потери тепла с уходящими газами  $q_2$  и способы ее снижения. Присосы воздуха в топке и газоходах и их влияние на работу котельной установки. Технико-экономическая целесообразность развития хвостовых поверхностей котлов. Понятие о «точке росы».

Потеря тепла от химической неполноты сгорания  $q_3$ , причины ее возникновения, определение и методы уменьшения.

Потеря тепла от механического недожога.  $q_4$ . Факторы, влияющие на

механический недожог топлива и методы его уменьшения.

Потеря тепла в окружающую среду  $q_5$ , способы ее определения и снижения.

Потери физического тепла с водой и шлаком –  $q_6$ . Прямой и обратный методы составления теплового баланса котлоагрегата

### ***Методические указания***

В процессе генерации пара неизбежны потери тепла, поэтому тепло, выделяющееся при сжигании топлива в котельной установке, распределяется на полезно используемое, которое идет на нагревание воды, парообразование и перегрев пара, и на потери  $q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$ .

На основании теплового баланса устанавливается коэффициент полезного действия (КПД) котлоагрегата, который характеризует степень экономического совершенства котла и расход топлива. Отсюда становится ясным, насколько важным является правильное составление теплового баланса котельной установки.

При изучении этой темы необходимо понять каждую статью теплового баланса и способы ее определения, изучить мероприятия по снижению потерь тепла.

Особое внимание необходимо обратить на потерю тепла с уходящими газами ( $Q_2$ ), которая является наибольшей из всех тепловых потерь котлоагрегата и обычно составляет 5-10%. Необходимо уяснить, что главными факторами, определяющими  $Q_2$  является температура уходящих газов ( $\vartheta_{yx}$ ), выбор которой является технико-экономической задачей и объем газов. Необходимо четко представлять те факторы, которые оказывают решающее влияние на величину  $\vartheta_{yx}$ .

Учащийся должен знать методы составления теплового баланса котлоагрегата. Для детального знакомства с методикой испытаний котлов и обработки их материалов учащемуся рекомендуется принимать участие в теплотехнических испытаниях котельных установок.

[2], (с 87-89); [3], (с 88-98); [4], гл.5; [7], (с 37-47); [18].

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Для чего составляется тепловой баланс котельной установки?
2. Напишите уравнение для определения располагаемого тепла топлива и объясните составляющие его элементы.
3. Напишите баланс тепла котла и объясните составляющие его элементы.
4. Как определяется потеря тепла с уходящими газами ( $Q_2$  и  $q_2$ )?
5. Как выбирается оптимальная величина температуры уходящих газов и от каких факторов она зависит?

6. В каких пределах лежат величины  $\vartheta_{yx}$  и  $q_2$  в современных котлах?
7. Что такое потеря тепла от химической неполноты сгорания ( $q_3$ ) и от чего она зависит?
8. Как определить потерю тепла от механической неполноты горения ( $q_4$ ) и из чего она складывается?
9. Зависит ли  $q_4$  от способа сжигания топлива и характеристики топлива?
10. От каких причин возникают потери в окружающую среду ( $q_5$ ) и от чего она зависит?
11. Как определить  $q_6$ ? Всегда ли учитывается  $q_6$ ?
12. Напишите в общем виде уравнение для определения полезно использованного тепла и объясните входящие в него элементы.
13. Что такое прямой и обратный баланс? Напишите формулы для определения КПД брутто по прямому и обратному балансу.
14. Что характеризует КПД брутто?
15. Для чего и как определяется КПД нетто?

*Задача 1.* Определить  $Q_2$  и  $q_2$  при сжигании в пылевидном состоянии угля марки Б Назаровского месторождения следующего состава:

$$W^p = 32,0\%, A^p = 10,2\%, S^p_{op+k} = 0,5\%, C^p = 41,6\%$$

$$H^p = 2,9\%, N = 0,8\%, O^p = 12\%, Q^p_H = 14958 \text{ кДж/кг.}$$

$$\text{Температура уходящих газов } \vartheta_{yx} = 140^\circ\text{C.}$$

$$\text{Коэффициент избытка } \alpha_{yx} = 1,39.$$

$$\text{Температура холодного воздуха } t_{xв} = 30^\circ\text{C.}$$

*Задача 2.* Для топлива, указанного в задаче 1 определить  $Q_4$  и  $q_4$  при следующей характеристике очаговых остатков:

$$\Gamma_{шл} = 3,5\%; \Gamma_{ун} = 6,3\%; \alpha_{шл} = 0,12; \alpha_{ун} = 0,88$$

*Задача 3.* Для условий, указанных в задачах 1 и 2, определить КПД и расход топлива котла, имеющего

$$D = 420 \text{ т/ч. } P_{п.п.} = 140 \text{ ата. } t_{п.п.} = 570^\circ\text{C, } t_{пв} = 230^\circ\text{C и } P_{пв} = 160 \text{ ата.}$$

Значение  $q_5$  определить по номограмме, а  $q_6$  подсчитать для жидкого шлакоудаления с  $t_{шл} = 1300^\circ\text{C}$ .

#### **Тема 1.4. Топливоподача и приготовление твердого топлива.**

Доставка топлива на электростанцию. Вагоны, применяемые для транспортировки топлива. Размораживание влажного топлива. Взвешивание топлива. Разгрузочные устройства топливного хозяйства. Типы и емкость складов топлива. Правила хранения топлива на складе. Механизмы, применяемые на складах: грейферные краны, скреперные установки, колесные скреперы, бульдозеры, катки и др. Механизмы, применяемые для

внутристанционного транспорта топлива: ленточные, пластинчатые и скребковые, транспортеры, ковшевые конвейеры и элеваторы. Лопастные, скребковые и ленточные питатели топлива.

Дробление топлива. Валковые и молотковые дробилки, принцип их работы. Расход электроэнергии на работу дробилок. Износ дробилок. Грохоты и магнитные сепараторы, их назначение и типы. Компоновка дробильных устройств.

Углеразмольные характеристики топлива. Коэффициент размолоспособности по ВТИ и ЦКТИ, тонкость помола, влажность пыли. Зависимость удельного расхода электроэнергии на помол топлива от коэффициента размолоспособности топлива и тонкости помола пыли. Экономически наивыгоднейшая тонкость помола пыли. Абразивность топлива. Сушка топлива в процессе пылеприготовления. Упрощенная предварительная подсушка топлива в нисходящем потоке сушильного агента. Понятие о размольной и сушильной производительности мельниц.

Системы пылеприготовления центральные и индивидуальные, с замкнутой и разомкнутой схемами сушки. Индивидуальные системы пылеприготовления с разомкнутой схемой сушки. Индивидуальные системы пылеприготовления с замкнутой схемой сушки, с промежуточным бункером пыли, с прямым вдуванием пыли. Индивидуальные системы пылеприготовления с разомкнутой схемой сушки и промежуточным бункером пыли. Центральные системы пылеприготовления.

Оборудование систем пылеприготовления. Углеразмольные мельницы, их классификация.

Мельницы шаровые барабанные, среднеходные и молотковые, мелющие вентиляторы; принцип их работы. Конструкция, производительность, расход электроэнергии, износ металла, область применения и маркировка мельниц. Особенности систем пылеприготовления с различными типами мельниц.

Бункера и питатели сырого угля и пыли, их назначение, типы, конструкция. Сепараторы пыли, их виды, конструкция, основные особенности, область применения. Пылевые циклоны, принцип их работы, конструкция. Пылепроводы, взрывные клапаны, мигалки, реверсивные шнеки, смесители и делители пыли, пылеконцентраторы; их назначение и конструкция.

Основы теплового и аэродинамического расчета системы пылеприготовления. Выбор оборудования топливоподачи и пылеприготовления согласно «Нормам технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей» и «Нормам расчета пылеприготовительных установок».



### *Методические указания*

При изучении вопроса топливоподачи учащийся особых затруднений не встретит, так как весь материал подробно изложен в указанной выше литературе.

Особое внимание учащийся должен обратить на правила хранения топлива на складе.

Учащийся должен знать, что процессу приготовлению пыли предшествует процесс подготовки твердого топлива к сжиганию, который определяется целым рядом свойств топлива (маркой, влажностью, крупностью и др.) и который включает в себя операции: удаление металла, колчедана и щепы из топлива, предварительное дробление, грохочение и сушка топлива.

Необходимо изучить назначение и устройство оборудования и схеме подготовки топлива к сжиганию, уметь определять кратность дробления, так как от размеров кусочков топлива после дробления зависит производительность системы пылеприготовления, эффективность сушки, износ мелющих элементов и расход электроэнергии на пылеприготовление.

Учащийся должен уяснить, что системой пылеприготовления называют совокупность оборудования, необходимого для размола топлива, его сушки и подачи готовой пыли в топочные устройства.

Выбор системы пылеприготовления является технико-экономической задачей.

Наибольшее применение получили индивидуальные системы пылеприготовления. Центральные системы пылеприготовления, отличающиеся сложностью и высокой стоимостью оборудования, широкого применения не нашли. Для пылеприготовления современных ТЭС характерны:

- а) индивидуальные системы пылеприготовления;
- б) сушка теплая во взвешенном состоянии;
- в) упрощенная подсушка путем совмещения процессов сушки и размола топлива;
- г) внедрение схем с прямым вдуванием, упрощающих установку пылеприготовления.

Учащийся должен знать все системы пылеприготовления с замкнутой и разомкнутой схемами сушки, с промежуточным бункером и с прямым вдуванием пыли, а также назначение и устройство оборудования систем приготовления пыли.

Необходимо знать основные характеристики пылевидного топлива и уметь определять их.

Учащийся должен производить тепловой и аэродинамический расчет системы пылеприготовления и выбирать оборудование топливоподачи и

пылеприготовления согласно «Нормам технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей» и «Нормам расчета пылеприготовительных установок».

[2], (с 35-60); [3], (с 45-79); [7], (с 52-69); [8]; [10]; [13].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назовите основные правила хранения на складе топлива с большим выходом летучих.
2. Как выбирается емкость склада твердого топлива согласно «Нормам технологического проектирования ТЭС и тепловых сетей»?
3. Из каких операций состоит процесс подготовки твердого топлива к сжиганию? Дайте схему одноступенчатой дробильной установки и объясните назначение каждого элемента схемы.
4. Что такое кратность дробления? Как влияет фракционный состав дробленого угля на работу пылеприготовительной установки?
5. Что характеризует коэффициент размолоспособности и как он определяется?
6. Чем характеризуется качество пыли?
7. Что понимается под экономической оптимальной тонкостью помола и влияет ли на нее выход летучих?
8. Изобразите схемы пылеприготовления с промежуточным бункером, опишите работу и назначение всего оборудования.
9. Изобразите схему пылеприготовления с непосредственным вдуванием пыли в топочную камеру, опишите работу и назначение всего оборудования.
10. Назовите типы мельниц, применяемых в системах пылеприготовления. Опишите устройство и принцип работы мельниц, укажите область применения их.
11. Для чего в системах пылеприготовления устанавливаются сепараторы и циклоны пыли? Назовите типы сепараторов, объясните их устройство и принцип работы. Дайте эскизы.

### **Тема 1.5. Доставка и подготовка к сжиганию жидкого и газообразного топлива**

Доставка мазута на электростанцию железнодорожным и водным транспортом и мазутопроводами. Приемные устройства. Хранение мазута. Насосы для подачи мазута, подогреватели, фильтры. Схемы подготовки и подводе жидкого топлива к горелкам котлов при механическом и паровом распылении. Правила пожарной безопасности на электростанциях, работающих на мазуте. Выбор оборудования мазутного хозяйства согласно

«Нормам технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей»

Подача газообразного топлива на электростанцию. Трубы, применяемые для сооружения газопроводов, и методы их соединения.

Схема газорегуляторного устройства, его оборудование (фильтры, регуляторы давления, запорная арматура). Автоматические приспособления, устанавливаемые на газопроводах. Выбор оборудования газового хозяйства согласно «Нормам технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей».

### ***Методические указания***

Материал данной темы подробно изложен в указанной выше литературе. В данной теме необходимо учитывать способы доставки мазута на ТЭС, разобраться в схемах мазутного хозяйства, которые зависят от мощности станции, способа доставки и роли мазута как топлива (основное, резервное или растопочное).

Учащийся должен уяснить, в чем заключается подготовка мазута перед его сжиганием.

Необходимо разобраться в схемах устройств для разогрева мазута в цистернах, изучить перспективные схемы этих устройств; знать конструкции приемно-сливных устройств; уметь выбирать способ установки и количество расходных баков, способ подогрева мазута в этих баках, типы подогревателей и фильтров и т.п., изучить технологические схемы мазутных хозяйств современных электростанций; нужно изучить «Правила пожарной безопасности на электростанциях, работающих на мазуте».

Учащийся должен изучить схемы снабжения электростанции газом, оборудование, арматуру, средства автоматики и защиты, обеспечивающие подготовку газа к сжиганию, надежность, маневренность и эффективность работы схемы; знать способы прокладки газопроводов, трубы и материалы, применяемые при сооружении газопроводов; уметь производить испытания, приемку, эксплуатацию и ремонт газопроводов, ГРП и газового оборудования в соответствии с требованием Госпромнадзора.

Учащийся должен научиться выбирать оборудование мазутного и газового хозяйства согласно «Нормам технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей».

[2], (с 60-65); [3], (с 73-80); [4], гл. 2; [7] (с 50-52).

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каким способом доставляется мазут на электростанцию?
2. Прием скольких цистерн должна обеспечивать сливная эстакада мазутохозяйства?

3. Какой запас мазута должен быть на ТЭС при использовании мазута в качестве основного топлива?
4. В зависимости от чего и как выбирается емкость резервуаров мазутохранилища?
5. Для чего устанавливают гидравлический затвор на сливном тракте?
6. Какой способ разогрева мазута в резервуарах мазутохранилища применяют в настоящее время и почему?
7. В чем заключается подготовка мазута к сжиганию?
8. Какие типы фильтров применяют для очистки мазута?
9. Да какой температуры должен быть нагрет мазут марки 100 при подаче его в котельную с помощью центробежных насосов, если на котлоагрегате установлены механические форсунки?
10. Изобразите схему снабжения газом электростанции, работающей на природном газе. Объясните назначение и принцип действия всех элементов схемы.
11. В чем заключается подготовка газа к сжиганию?
12. Какие существуют способы прокладки газопроводов?
13. Какие узнаете типы ГРП и ГРУ и каково их назначение?
14. Какие трубы и материалы применяют при сооружении газопроводов?
15. Каким испытаниям подвергают вновь сооруженные и капитально отремонтированные газопроводы и как эти испытания проводятся?
16. Какая запорная и регулировочная арматура устанавливается на газопроводах?
17. С какой целью устанавливаются и как выполняются продувочные свечи?

### **Тема 1.6. Элементы теории горения.**

Физические основы процесса горения топлива. Зависимость скорости горения от температуры.

Понятие о кинетике горения. Гомогенные и гетерогенные реакции. Закон действующих масс. Скорость реакции горения. Энергия активации. Процесс воспламенения топлива. Фронт воспламенения. Температура воспламенения. Аэродинамические и физико-химические основы процесса горения жидкого, газообразного и твердого натурального топлива. Стадии процесса горения.

#### ***Методические указания***

Изучая данную тему, учащийся должен уяснить, что горение представляет собой совокупность сложных процессов, состоящих из

химических реакций соединения элементов топлива с окислителем, сопровождающихся значительным выделением тепла и резким повышением температуры, и ряда физических процессов, протекающих одновременно с химическими реакциями и оказывающими на них большое влияние.

Физические процессы – это процессы тепло и массообмена, которые в свою очередь зависят от характера течения газовой воздушной смеси.

Учащийся должен усвоить, что важнейшими задачами теории горения является изучение основных химических закономерностей, которым подчиняются реакции горения, и влияния, оказываемого на скорость горения и полноту протекания этих реакций вышеуказанными физическими процессами.

Необходимо различать гомогенные и гетерогенные реакции, скорость реакции и скорость горения; знать зависимости указанных скоростей от соответствующих факторов; уяснить сущность и развитие цепных реакций, благодаря которым скорость реакции значительно превосходит величину, определяемую согласно закону действующих масс; четко представлять особенности процесса горения углерода как основной составляющей твердого и жидкого топлива; различать особенности процесса горения газообразного, жидкого и твердого натурального топлива и знать стадии процесса горения.

[2], (с 65-80); [3], (с 98-111); [7], (с 74-83).

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что выражает закон действующих масс?
2. Объясните сущность гомогенной реакции. Приведите пример.
3. Объясните сущность гетерогенной реакции. Приведите пример.
4. Что понимают под скоростью реакции (гомогенной и гетерогенной)?
5. От каких факторов зависит скорость протекания химической реакции?
6. Объясните зависимость скорости горения от температуры.
7. Назовите режимы (области) гетерогенного горения и объясните их сущность.
8. Напишите разветвленную реакцию горения углерода и объясните ее сущность.
9. Что называется, воспламенением топлива? Объясните сущность способов воспламенения (цепного и теплового).
10. Каковы особенности горения твердого натурального топлива? Назовите законы горения топлива в зависимости от температурного уровня и объясните их сущность.
11. Каковы особенности горения жидкого и газообразного топлива?
12. От каких факторов зависит эффективность процессов горения каждого вида натурального топлива?

## **Тема 1.7. Конструкции топок.**

Понятие о топочном устройстве. Влияние горелочных устройств и топочной камеры на экономичность сжигания топлива. Классификация топочных устройств по назначению и способу сжигания. Классификация энергетических камерных топок по виду сжигаемого топлива, способу сжигания, и шлакоудаления, числу камер, режиму работы (под разрежением или под наддувом).

Основные тепловые и геометрические характеристики камерных топок; тепловая мощность, энерговыделение на единицу объема и сечения топочной камеры, теоретическая адиабатическая температура горения, максимальная температура в топочной камере, температура газов и коэффициент избытка воздуха на выходе из топки.

Поведение золы и шлака в топке, влияние на организацию топочного процесса.

Пылеугольные топки, конструкции пылеугольных горелок, требования к ним. Экранирование топок. Топки с гранулированным шлакоудалением, размещение горелок и экранов в них. Характеристики работы этих топок, область применения, недостатки.

Топки с жидким шлакоудалением, принцип работы, конструктивное выполнение. Однокамерные и двухкамерные топки с жидким шлакоудалением, характеристика их работы, достоинства и недостатки, область применения топок с жидким шлакоудалением.

Циклонные вихревые топки, их разновидности.

Топки для сжигания газа и мазута. Типы мазутных форсунок с механическим и паровым распылением. Типы и конструкции газовых горелок. Комбинированные газомазутные горелки. Газомазутные топки их конструкции и основные характеристики. Расчет теплообмена в топочной камере. Выбор основных размеров камерных топок и циклонных предтопков. Определение эффективной лучевоспринимающей поверхности топки и тепловосприятости отдельных участков экранов, расположенных в топке.

### ***Методические указания***

При изучении темы следует уяснить, что назначение всякого топочного устройства состоит в превращении химически связанной энергии топлива в тепловую энергию продуктов сгорания. Преобразование одного вида энергии в другой достигается путем сжигания топлива в топочных устройствах.

Несмотря на наличие большого количества конструкций топок, так как каждый вид и сорт топлива требует для эффективного его сжигания применение топки определенного типа, ряд принципов является общим:

1. Возможно более полное сгорание топлива при минимальном коэффициенте и избытка воздуха.
2. Возможно меньшее и легко устранимое шлакование топки и поверхностей нагрева.
3. Высокая надежность эксплуатации.
4. Обеспечение наиболее благоприятных условий тепловосприятия поверхностями нагрева.
5. Удобство и простота обслуживания.
6. Возможность быстрого регулирования нагрузки в широких пределах.

Необходимо знать, что горелочные устройства являются важным элементом топки, так как от их работы и размещения в топке зависит характер смесеобразования, что в сочетании с аэродинамикой топочной камеры определяет интенсивность воспламенения, скорость и полноту сгорания, а следовательно, тепловую мощность и эффективность топки.

Учащийся должен уметь производить классификацию топок по методу сжигания, по числу камер, по виду сжигаемого топлива, по способу удаления шлака и по режиму работы (под наддувом или под разрежением).

Следует обратить особое внимание на основные тепловые и геометрические характеристики камерных топок: тепловую мощность энерговыделения на единицу объема и сечения топочной камеры, теоретическую адиабатическую температуру горения, максимальную температуру в топочной камере, температуру газов и коэффициент избытка воздуха на выходе из топки.

На организацию топочного процесса при сжигании пылевидного топлива большое влияние оказывают образование и поведение золы и шлака в топочной камере, поэтому учащийся должен знать характер распределения температуры в топочном объеме (изотермы в топке), который зависит от метода удаления золы и шлака из топки.

При изучении пылеугольных топок следует обратить внимание на конструктивное оформление топок, экранирование, конструкции горелок и их размещение в топке.

В пылеугольных топках с гранулированным (сухим) шлакоудалением следует обратить внимание на конструктивные особенности при сжигании топлива с малым выходом летучих (АШ, Т); необходимо знать основные характеристики этих топок, область их применения и недостатки.

Топки с жидким шлакоудалением в современной энергетике находят все большее применение, поэтому учащийся должен усвоить принцип работы данных топок, их преимущества перед другими типами топок, недостатки,

область применения и знать основные характеристики их работы.

Учащийся должен знать особенности одно и двухкамерных факельных топок с жидким шлакоудалением.

К топкам с жидким шлакоудалением относятся циклонные топки и топки с пересекающимися струями, которые классифицируются как вихревые топки.

Циклонные вихревые топки имеют меньшие габариты, чем обычные пылеугольные топки, интенсивное перемешивание топлива с воздухом, обеспечивают высокую интенсификацию горения, высокую степень улавливания золы в пределах топки, имеют высокий КПД. Эти конструкции топок позволяют сжигать топливо укрупненного помола. Циклонные топки считаются перспективными для энергетики.

Следует обратить внимание на конструкции циклонов и компоновку топки с циклонами, а также конструктивное выполнение самих циклонных топок (например, топки с горизонтальными и вертикальными циклонами).

В топках с пересекающимися струями из-за больших скоростей вдувания топливной смеси применяются компактные горелки, благодаря энергичному воспламенению и организации вихревого сжигания осуществляется экономичное сжигание при высоком энерговыделении в объеме топки, а при переходе с одного топлива на другое, включая газ и мазут, достигается сравнительно небольшое изменение температуры на выходе из топки.

Топки для сжигания жидкого и газообразного топлива получают все большее распространение в нашем энергохозяйстве. При изучении материала темы необходимо обратить внимание на особенности сжигания этих топлив. Обратите внимание на конструктивное выполнение топок, сравните их с пылеугольными топками. Для сжигания жидких и газообразных топлив применяются горелочные устройства, отличные от пылеугольных горелок, поэтому необходимо ознакомиться с конструкциями этих горелок и форсунок для мазута.

Необходимо знать режим работы, конструкции, основные характеристики и особенности эксплуатации газомазутных топок.

Учащийся должен уметь производить выбор основных размеров камерных топок и определять эффективную лучевоспринимающую поверхность топки и тепловосприятая отдельных участков экранов, расположенных в топке, производить расчет теплообмена в топочной камере и точном соответствии с [2] и [3].

[2], (с 99-123); [3], (с 107-135, 155); [4], гл.6,8 и приложение; [7], (с 84-108); [11]; [12].



### **Вопросы для самопроверки**

1. Что понимается над топочным устройством и каково его назначение?
2. По каким признакам классифицируются камерные топки? Дайте их классификацию
3. Назовите основные значения температур в топке и объясните связь между ними ( $\vartheta_a, \vartheta_{\max}, \vartheta_m''$ )
4. Какими показателями характеризуется интенсивность работы топочной камеры по процессу сжигания и по процессу теплообмена?
5. Для чего необходимо знать величину  $\frac{V_p \times Q_p^p}{V_T}$  и чем ограничиваются верхний и нижний пределы указанной величины?
6. Какое влияние на организацию топочного процесса при сжигании пылевидного топлива оказывают образование золы и шлака в топочной камере?
7. Объясните зависимость характера распределения температура туры в топочном объеме от метода удаления золы и шлака из топки.
8. Какие задачи возложены на горелочное устройство в топочном процессе?
9. Назовите типы круглых пылеугольных горелок и область их применения. Дайте эскизы, объясните устройство и принцип работы.
10. Дайте эскизы, объясните устройство и принцип работы прямоточных пылеугольных горелок и укажите область их применения.
11. Дайте схемы расположения пылеугольных горелок в топках. Какие схемы и типы горелок применяются в топках с удалением шлака в твердом состоянии, а какие в топках с жидким шлакоудалением?
12. Укажите назначение и дайте конструкции топочных экранов, применяемых в современных котельных установках.
13. Чем вызвано применение двусветных экранов?
14. Дайте эскиз факельной топки с удалением шлака в твердом состоянии, объясните устройство и принцип работы, укажите область применения.
15. Укажите основные характеристики факельных топок для сжигания пылевидного топлива с удалением шлака в твердом состоянии.
16. Для чего в некоторых факельных топках с твердым шлакоудалением устраивают зажигательный пояс?
17. Дайте эскизы факельных топок с жидким шлакоудалением. Укажите область их применения, достоинства и недостатки.
18. Чем вызвано появление полузакрытых однокамерных топок (с пережимом) и двухкамерных? Укажите основные характеристики их работы.

19. Дайте эскизы циклонных вихревых топок, объясните принцип их работы, укажите область применения, достоинства и недостатки.

20. Назовите достоинства, которыми обладают вихревые топки с пересекающимися струями.

21. Как устроены топки для сжигания газа и мазута?

22. Какие виды газа и мазута сжигаются в топках котлов?

23. Как устроены горелки для сжигания мазута?

24. Как устроены горелки для сжигания газов и комбинированные горелки для сжигания газа и мазута?

25. Особенности горелочных устройств для попеременного сжигания твердого и газообразной топлив?

## **Раздел II Котельные установки электростанций**

### **Тема 2.1. Основы гидродинамики котлов и температурный режим поверхностей нагрева**

Основные понятия о гидродинамике; режимы течения двухфазного потока, скорость циркуляции, паросодержание потока, кратность циркуляции. Условия охлаждения поверхности нагрева. Понятие о кризисе кипения I и II рода. Особенности теплообмена в зоне максимальной теплоемкости, которые достигают сверхкритического давления.

Особенности теплового и гидравлического режимов разомкнутой системы. Гидравлические сопротивления. Тепловая и гидравлическая разветки. Гидравлическая неустойчивость парообразующих поверхностей нагрева. Коллекторный эффект. Пульсация потока.

Особенности теплового и гидравлического режимов замкнутой системы. Напоры, возникающие в циркуляционном контуре, гидравлические сопротивления.

Надежность и дефекты циркуляции.

Принцип гидродинамического расчета замкнутых систем с естественной циркуляцией.

#### ***Методические указания***

При изучении данной темы необходимо четко уяснить, что проблема надежности охлаждаемых рабочей средой поверхностей нагрева котлоагрегатов является одной из весьма важных в современной теплоэнергетике. Ее значение увеличивается с ростом мощности котлов и особенно с сооружением электростанций блочного типа.

Для надежной работы котла требуется непрерывный отвод тепла от поверхностей нагрева в соответствии с их обогревом. Нужно знать все режимы течения двухфазного потока, т.к. они оказывают сильное влияние на

интенсивность отвода тепла в парообразующих трубах. Необходимо знать, что режимы течения при прочих равных условиях зависят от расположения парообразующих труб пространства (вертикальные и горизонтальные грубы и гибы труб).

Учащийся должен знать и уметь определять основные параметры течения двухфазного потока: скорость циркуляции, приведенные скорости воды и пара, скорости пароводяной смеси, паросодержание потока (массовое и объемное), плотности пароводяной смеси и кратность циркуляции.

Необходимо уяснить, что движение пароводяной смеси, а, следовательно, и охлаждение парообразующих труб котла различных систем организуется по-разному.

Учащийся должен знать условия охлаждения поверхностей нагрева котла низкого и высокого давления и особенности теплообмена в зоне максимальной теплоемкости котлоагрегатов сверхкритического давления. Необходимо разобраться почему в области сверхкритического давления теплообмен ухудшается и к каким последствиям вообще приводит ухудшение теплообмена поверхностей нагрева.

Для обеспечения надежности необходимо, чтобы все параллельные трубы поверхности нагрева работали в средних (расчетных) условиях, но практически гидравлические и тепловые характеристики труб различны. Поэтому важно знать причины гидравлических и тепловых развертки, их зависимость и связь, величины допустимых тепловых разверток для различных поверхностей нагрева.

Учащийся должен знать особенности гидравлических характеристик парообразующих систем с горизонтальным движением потока и систем с подъемным и подъемноопускным потоком, факторы влиявшие на стабильность гидравлической характеристики.

В эксплуатации котел всегда подвержен возмущениям, которые вызывают нарушение установившегося режима и пульсацию расхода рабочего тела через парообразующие трубы, поэтому учащийся должен разобраться в явлениях межвитковой и общей пульсации и знать меры по устранению пульсации.

Учащийся должен знать основы гидравлического расчета замкнутой системы циркуляции и уметь определять:

- а) сопротивление опускного участка, по которому движется вода;
- б) высоту экономайзерного и парообразующего участков;
- в) относительное сечение, занятое паром;
- г) напорную плотность пароводяной смеси;
- д) движущий напор циркуляции;

- е) сопротивление подъемного участка;
- ж) полезный напор циркуляции.

На основании полученных данных учащийся должен уметь строить диаграмму циркуляции и определить с ее помощью действительную скорость циркуляции.

Указанные выше операции учащийся должен уметь производить и в отношении сложного контура циркуляции.

[2], (с 124-150); [3], (с 135-162); [7], (с 128-175); [12]; [17].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какие режимы течения двухфазного потока возможны в вертикальных парообразующих трубах парогенератора и от каких факторов они зависят? Объясните физическую сущность каждого режима.

2. Какие виды режима течения, двухфазного потока характерны для высокого давления и какие для сверхкритического?

3. Что является характерной особенностью течения двухфазного потока в горизонтальных трубах и в гibaх труб?

4. Перечислите параметры течения двухфазного потока.

5. Напишите формулы для определения скорости циркуляции и массового паросодержания потока, объясните их составляющие.

6. Что такое кратность циркуляции и какова связь её с массовым паросодержанием?

7. Почему при малых нагрузках котла высокого давления не всегда обеспечивается надежное охлаждение экранных труб?

8. Объясните, почему в прямоточных генераторах снижение нагрузки ограничивается 30% его номинальной паропроизводительности.

9. Объясните зависимость между температурой стенки парообразующей трубы и коэффициентом теплоотдачи от стенки к рабочему телу в установившемся режиме.

10. Что понимается под граничным паросодержанием потока? Объясните, почему в области сверхкритического  $P$  происходит ухудшение теплообмена.

11. Каковы особенности теплообмена в зоне максимальной теплоемкости котла сверхкритического давления?

12. Назовите факторы, вызывающие гидравлическую и тепловую развертки.

13. Что называется, гидравлической характеристикой парообразующего участка?

14. Где и при каких условиях может быть гидравлическая нестабильность? Назовите факторы, влияющие на неё.

15. Назовите виды пульсации, потока, факторы, их вызывающие, и меры борьбы с ними.

16. Для чего применяют в трубной системе коллекторы и каково их влияние на работу поверхностей нагрева?

17. Что такое экономайзерный участок и как определяется его высота?

18. Что называется, полезным напором циркуляции барабанного котла и как он определяется?

19. Что необходимо знать, чтобы построить диаграмму циркуляции простого контура?

20. Как и для чего строят диаграмму циркуляции сложного контура?

21. Назовите дефекты циркуляции и укажите причины, вызывающие их.

## **Тема 2.2. Парогенерирующие поверхности нагрева и устройства.**

Тепловосприятие парогенерирующих поверхностей нагрева и его влияние на компоновку котла. Компоновка топочных экранов и конвективных испарительных поверхностей нагрева. Классификация экранов по расположению труб: вертикальные, горизонтальные, многопетлевые. Конструкция гладкотрубных, плавниковых и шиповых экранов, их секционирование. Узлы сочленения гладкотрубных и мембранных экранов. Крепление и компенсация температурных удлинений экранов. Влияние компоновки газоплотных удлинений экранов на их температурный режим. Методы повышения надежности плавниковых экранов.

Требования, предъявляемые к качеству пара современных котлов. Причины загрязнения пара. Внутрибарабанные сепарационные устройства, промывка пара.

Метод ступенчатого испарения. Схема циркуляционных контуров со ступенчатым испарением. Выносные циклоны. Область применения ступенчатого испарения. Методы получения чистого пара в прямоточных котлах.

Переходные зоны прямоточных котлов, их конструкция, размещение и область применения.

### ***Методические указания***

Материал темы довольно подробно изложен в указанной выше литературе.

В современном энергетическом парогенераторе все стены топочной камеры закрыты экранами.

Учащийся должен знать, для каких целей служат экраны в котлах среднего, высокого, сверхвысокого и сверхкритического давления.

Необходимо уяснить, что испарительные поверхности нагрева по

конструкции в котлах различных систем очень сильно отличаются друг от друга и что их компоновка зависит от способа и величины тепловосприятия, поэтому важно знать распределение тепла между поверхностями нагрева котла в зависимости от давления перегретого пара.

Учащийся должен знать классификацию экранов по расположению труб, конструкцию радиационных и конвективных испарительных поверхностей нагрева как барабанных, так и прямоточных котлов различного давления.

Особое внимание необходимо обратить на мероприятия, направленные на обеспечение надежности испарительных поверхностей нагрева.

Учащийся должен знать требования, предъявляемые к качеству пара современных котлов в соответствии с действующими «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ): четко представлять источники загрязнения питательной воды и пара; знать закономерности уноса капельной влаги паром и закономерности растворимости веществ в паре; твердо усвоить все методы получения чистого пара в барабанных и прямоточных котлах, знать водный режим барабанных и особенности водного режима прямоточных котлов.

[2], (с 150-172); [3], (с 182-197); [4], гл. 8; (с 198-213, 262-268); [11]; [12].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какую роль играют экраны в котлах высокого, сверхвысокого и сверхкритического давления?

2. Назовите конвективные испарительные поверхности барабанных и прямоточных котлов, объясните их конструкцию, укажите размещение их по газоходам парогенератора и область применения.

3. Для чего и где устанавливаются двухсветные экраны?

4. Объясните конструкцию, принцип работы и область применения экранов в котлах с естественной циркуляцией. Дайте эскизы каждого типа экранной системы.

5. Дайте эскизы горизонтальных топочных экранов, объясните принцип работы и компенсации температурных расширений и укажите область применения, достоинства и недостатки.

6. Какие конструкции экранов, кроме горизонтальных, применяются в прямоточных котлах? Укажите область их применения, достоинства и недостатки.

7. Как устроены газоплотные экраны? Укажите область их применения, достоинства и недостатки.

8. Назовите методы, повышающие надежность работы экранов.

9. Какие требования предъявляются к качеству питательной воды и

пара?

10. Что такое зеркало испарения?
11. Какие существуют методы получения чистого пара?
12. Какие схемы ступенчатого испарения применяются в котлах? Дайте эскизы и объясните принцип работы.
13. Для чего применяется продувка котла? Укажите область ее применения.
14. Для чего и как организуется промывка пара?
15. Дайте схемы паросепарационных устройств, объясните принцип работы и укажите область применения.
16. Объясните назначение и конструктивное выполнение переходной зоны, размещение ее в тепловой схеме котла и укажите область ее применения.

### **Тема 2.3. Пароперегреватели.**

Пароперегреватели первичного и вторичного пара, их назначение. Классификация пароперегревателей. Влияние параметров пара на компоновку пароперегревателей. Конвективные пароперегреватели, их применение. Схемы движения пара и газа. Распределение пара по змеевикам. Конструкции конвективных пароперегревателей и применяемые материалы.

Полурадиационные пароперегреватели, их конструкции и применение.

Радиационные пароперегреватели, их размещение и конструктивное выполнение.

Температурная разверка в пароперегревателях, причины, ее вызывающие. Меры, предусматривающие уменьшение разверки.

Примеры схем пароперегревателей современных котлов.

Отклонения температуры перегрева пара от номинального значения, их причины и допускаемые значения. Способы регулирования температуры перегретого пара.

Вторичные пароперегреватели. Регулирование температуры вторичного перегрева пара. Паропаровые и парогазовые регуляторы.

Тепловой расчёт пароперегревателей. Особенности расчета ширмовых пароперегревателей.

#### ***Методические указания***

При изучении данной темы нужно иметь виду, что пароперегреватель по режиму работы является одним из наиболее ответственных элементов котельной установки, так как температура пара в пароперегревателе достигает наибольших значений.

Учащийся должен изучить схемы пароперегревателей современных котельных установок, конструкции и назначение их, знать классификацию

пароперегревателей.

Необходимо изучить причины появления радиационных, ширмовых и вторичных перегревателей пара, способы регулирования температуры первичного и вторичного пара, основные неполадки в работе пароперегревателей и меры борьбы с ними.

Учащийся должен знать способы защиты пароперегревателей первичного и вторичного пара от перегрева при растопке в останове котельной, при сбросе нагрузки турбиной.

Необходимо научиться производить тепловой расчёт (поверочный и конструктивный) любого типа пароперегревателя.

[2], (с 172-188); [3], (с 193-213); [4], гл. 8 и приложение; [7], (с 274-286); [11]; [12].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каково назначение пароперегревателя и какие существуют типы пароперегревателей по способу тепловосприятия?
2. Объясните назначение промежуточного пароперегревателя, укажите область его применения и место в тепловой схеме котельной установки.
3. Какие схемы движения пара в пароперегревателе по отношению к направлению движения дымовых газов применяются и имеет ли это какое-либо значение?
4. От каких факторов и как зависит компоновка пароперегревателей?
5. Какие факторы и как влияют на температуру пара?
6. Укажите причины, вызывающие гидравлическую и температурную развертки в пароперегревателе.
7. Дайте классификацию методов регулирования температуры первичного пара и пара промежуточного перегрева.
8. Укажите способы регулирования первичного пара, назовите их достоинства и недостатки.
9. Какие способы регулирования пара, промежуточного перегрева применяются в современном котлостроении? Укажите их достоинства и недостатки.
10. Какие марки сталей применяются для изготовления элементов пароперегревателей?
11. Напишите основные уравнения, необходимые для теплового расчёта пароперегревателя.
12. В чём разница между поверочным и конструктивным расчётом пароперегревателя?



## **Тема 2.4. Низкотемпературные поверхности нагрева.**

Назначение и условия работы низкотемпературных поверхностей нагрева, их влияние на температуру уходящих газов и КПД котельной нагрева. Водяные экономайзеры, их классификация.

Схемы и конструкции водяных экономайзеров. Групповая и индивидуальная защита водяных экономайзеров от золотого износа. Новые конструкции водяных экономайзеров. Тепловой расчёт экономайзеров.

Экономическая целесообразность снижения температуры уходящих газов и увеличения подогрева воздуха. Рекомендуемые значения температуры уходящих газов и температуры подогрева воздуха в зависимости от характеристики топлива и способа его сжигания. Одноступенчатая и двухступенчатая компоновка низкотемпературных поверхностей нагрева.

Рекуперативные и регенеративные воздухоподогреватели. Конструкции стальных трубчатых воздухоподогревателей, их схемы и компоновка. Способы защиты воздухоподогревателей от золотого износа.

Регенеративные воздухоподогреватели, их конструкция, преимущества и недостатки по сравнению с рекуперативными воздухоподогревателями.

Низкотемпературная коррозия в воздухоподогревателях, ее причины и методы предупреждения.

Тепловой расчёт воздухоподогревателей.

### ***Методические указания***

При изучении настоящей темы необходимо уяснить, что экономайзер и воздухоподогреватель, являясь последними по газовому тракту (низкотемпературными) поверхностями нагрева, разрешают в первую очередь вопросы повышения экономичности котельной установки за счёт утилизации тепла уходящих газов.

Необходимо учесть, что, хотя рабочие процессы в экономайзере и воздухоподогревателе протекают различно, по условиям тепловой работы эти поверхности нагрева взаимно связаны.

Общими задачами конструирования низкотемпературных поверхностей нагрева являются интенсификация теплообмена и создание компактных малогабаритных элементов с умеренной затратой металла, которые бы подвергались минимальному золотому износу, заносу и коррозионным повреждениям.

Учащийся должен уяснить, что оптимальные температуры уходящих газов и подогрева воздуха определяются на основании технико-экономических расчетов и зависят от характеристики топлива, способа сжигания и его стоимости, а также от стоимости металла поверхностей нагрева.

Необходимо установить причины применения в современных котельных двухступенчатой компоновки низкотемпературных поверхностей нагрева и получаемый эффект.

Учащийся должен знать конструкции низкотемпературных поверхностей нагрева и способы обеспечения их надежной работы, уметь производить тепловой расчет.

Материал данной темы подробно изложен в указанной выше литературе, поэтому каких-либо затруднений при изучении темы учащийся не должен встретить.

[2], (с 188-202); [3], (с 213-288); [4], гл. 8 и приложение; [7], (с 290-300); [11]; [12], (с 213-288).

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каково назначение водяного экономайзера?
2. Какие существуют типы экономайзеров? Дайте эскизы и опишите работу экономайзеров, применяемых в отечественном котлостроении.
3. Какие экономайзеры называются кипящими? Каковы особенности их теплового расчета?
4. Назовите причины и объясните сущность повреждений низкотемпературных поверхностей, укажите меры борьбы с ними.
5. Назовите типы компоновок низкотемпературных поверхностей нагрева, укажите область их применения, достоинства и недостатки. Дайте эскизы.
6. Какими факторами ограничивается снижение температуры уходящих газов и повышение температуры подогрева воздуха?
7. Дайте эскизы, объясните устройство, укажите область применения, достоинства и недостатки рекуперативных воздухоподогревателей.
8. Объясните принцип действия, укажите область применения достоинства и недостатки регенеративных воздухоподогревателей.
9. Дайте схемы и опишите принцип действия, область применения, достоинства и недостатки воздухоподогревателей с промежуточным теплоносителем.
10. Назовите методы повышения коррозионной стойкости воздухонагревателей.
11. Напишите основные уравнения для теплового расчета экономайзера и воздухоподогревателя.

### **Тема 2.5. Методика теплового расчета котлов.**

Задачи теплового расчета. Поверочный и конструктивный тепловой расчет. Последовательность теплового расчета.

Расчет прямоточных котлов (последовательность, особенности расчета переходной зоны).

Особенности расчета при двухступенчатом расположении поверхностей нагрева водяного экономайзера и воздухонагревателя.

Проверка правильности расчета составлением балансовых уравнений по пароводяному и парогазовому трактам.

Применение электронных вычислительных машин для теплового расчета котлов.

### ***Методические указания***

Тепловой расчёт котла производится по нормативному методу (Л-2).

Тепловой расчёт котла производится при проектировании новых котлов, модернизации или переводе их с одного вида топлива на другой. В соответствии с этим имеются два вида расчета: конструктивный и поверочный. Оба расчета имеют общую методику, разница состоит лишь в целях расчета.

При конструктивном расчете определяются все размеры котла, объем топки, размеры поверхностей нагрева.

При поверочном расчете для определенного котла с определенными поверхностями нагрева проверяется температура воды, пара, воздуха и газов при входе и выходе из отдельных поверхностей нагрева. Чаще всего подобные расчеты производятся при переводе котла с одного вида топлива на другой.

В практике часто расчеты являются поверочно конструктивными. При проведении расчета особое внимание уделяется процессам теплообмена, происходящим в топке и конвективных поверхностях нагрева котла.

Учащийся должен уметь производить поверочный и конструктивный расчет как барабанного, так и прямоточного котла; знать особенности теплового расчета при двухступенчатой компоновке низкотемпературных поверхностей нагрева и особенности расчета переходной зоны.

Необходимо уметь сводить тепловой баланс котельной установки и знать его допускаемую невязку.

Поскольку в настоящее время для выполнения поверочных тепловых расчетов котла широко применяются электронно-вычислительные цифровые машины, учащийся должен ознакомиться с основными математическими методами решения задачи на ЭВМ и рекомендации по программированию. [2], (с 202-215); [3], (с 228-247); [4]; [7], (с 243-248); [18], раздел 4-6 и приложения.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каковы задачи конструктивного и поверочного расчетов котла?
2. Опишите последовательность конструктивного теплового расчета

применительно к произвольно выбранной схеме барабанного котла.

3. Опишите особенности расчета прямоточного котла, дайте формулы определения количества воспринимаемого тепла каждой поверхностью нагрева применительно к расчетной схеме произвольно выбранного котла.

4. Как подсчитать количество тепла, внесенного в топку с воздухом?

5. Как определяется и выбирается температура газов на выходе из топки?

6. Что такое степень экранирования топки? Как она определяется?

7. Как производится расчет радиационной поверхности нагрева?

8. Каким способом воспринимается тепло поверхностями нагрева в топочной камере? Как определить количество переданного в топке тепла?

9. Какие два уравнения положены в основу расчета конвективных поверхностей нагрева?

10. Как производится подсчет температурного напора?

11. Как определяется температура загрязненной стенки для различных поверхностей нагрева?

12. Напишите формулы для определения коэффициента теплопередачи.

13. Напишите основные уравнения лучистого теплообмена в топочной камере при конструктивном и поверочном расчетах. Дайте объяснение составляющим элементам уравнения.

*Задача 1.* Определить необходимую величину радиационной поверхности нагрева топки котла, имеющего производительность  $D = 420$  т/ч, давление пара  $P = 140$  атм и температуру перегретого пара  $t_{п.п.} = 570^\circ$  при сжигании Челябинского бурого угля состава:

$$W^p = 17\% \quad A^p = 24,9\% \quad S^p = 1,2\% \quad C^p = 41,8\%$$

$$H^p = 3\% \quad N^p = 1,0\% \quad O^p = 11,1\% \quad Q_{п.п.}^p = 15796 \text{ кДж/кг}$$

Температура уходящих газов  $V_{yx} = 140^\circ\text{C}$ . Температура питательной воды  $t_{п.в.} = 230^\circ\text{C}$ . Температура горячего воздуха  $t_{г.в.} = 290^\circ\text{C}$ .

Температура холодного воздуха  $t_{х.в.} = 30^\circ\text{C}$ .

Коэффициент избытка воздуха в топке  $\alpha_t = 1,2$ .

Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах  $\alpha_{yx} = 1,28$ .

Потери:  $q_3 = 0,0\%$ ,  $q_4 = 1\%$ ,  $q_5 = 0,4\%$

Степень экранирования топки  $\phi = 0,95$ .

Параметр  $M = 0,47$

Задачу необходимо решать, используя Л-2 и Л-15

*Задача 2.* Для котла, установленного на станции, где вы работаете, необходимо определить лучевоспринимающую (радиационную) поверхность нагрева топочной камеры по конструктивным размерам топки.

Конструктивные размеры топки взять из чертежей, имеющихся на

станции.

## **Тема 2.6. Металлы котлостроения. Расчет на прочность основных элементов котла.**

Условия работы металла в современных котлах. Коррозия. Абразивный износ под действием летучей золы. Ползучесть и длительная прочность. Изменения в структуре и свойствах металла в результате длительного воздействия высоких температур. Требования, предъявляемые к металлам котлостроения. Материалы, применяемые в котлостроении: углеродистые стали, низколегированные стали перлитного класса, высоколегированные стали аустенитного, мартенситного и мартенситно-ферритного классов. Влияние отдельных компонентов на свойства данных сталей. Марки сталей и область их применения. Низколегированные стали, работающие в условиях отсутствия ползучести, их марки, область применения. Литые стали, их марки и область применения.

Расчет на механическую прочность цилиндрических и плоских элементов котла, работающих под давлением (барабанов, эллиптических днищ, коллекторов, труб поверхностей нагрева, трубных досок, заглушек и приварных доннышек).

### ***Методические указания***

При изучении настоящей темы необходимо научиться правильно оценивать условия работы котельных элементов, знать основные качества сталей, применяемых в котлостроении, уметь рассчитывать на прочность основные элементы котла

Условия работы металла разных элементов и деталей котельной установки различаются весьма существенно.

Каркас парогенератора, например, по существу работает при температуре воздуха в помещении. Неохлаждаемые детали (опоры, подвески, крепления) работают в тяжелых условиях, так как подвергаются действию высоких температур (до 800° С) и несут весовую нагрузку. Наиболее ответственные детали котельной установки (барабан, коллекторы, паропроводы) подвергаются постоянному воздействию напряжения от внутреннего давления при высокой температуре и действию силы тяжести, а иногда – дополнительному воздействию переменных (циклических) напряжений, вызываемых нарушением протекания процессов генерации пара и топочных процессов.

В этой связи учащийся должен твердо знать применяемые в котлостроении материалы, область их применения и факторы, которые ограничивают область их применения тех или иных марок сталей.

Материал темы подробно изложен в указанной выше литературе. [2], (с 215-222); [3], (с 247-260); [7], (с 249-259); [9]; [12], (с 59-82).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Охарактеризуйте условия, в которых работают основные элементы котла.
2. Как изменяются механические характеристики сталей с повышением температуры?
3. Что такое ползучесть сталей и чем опасно появление ползучести? Нарисуйте диаграмму ползучести стали и объясните ее.
4. Что характеризует предел длительной прочности?
5. Что понимается под явлением графитизации стали?
6. Какие стали применяются в котлостроении? Дайте краткую характеристику этих сталей.
7. Из каких марок сталей изготавливаются пароперегреватели, экономайзеры и экранные трубы современных котлов?
8. Какие виды сварки применяются при изготовлении элементов котла?
9. Напишите уравнения для расчета цилиндрических элементов котла. Каковы особенности расчета коллекторов?
10. Напишите уравнение для расчета днищ барабанов и коллекторов котла.

**Задача 1.** Определить толщину стенки барабана, изготовленного из стали марки 16 ГНМА. Внутренний диаметр барабана  $D_{\text{вн}} = 1600$  мм. В барабане максимальное ослабление находится в районе присоединения труб. Диаметр труб  $d = 76 \times 5$  мм. Трубы размещены в шахматном порядке. Шаг между трубами вдоль оси барабана  $S_1 = 285$  мм, шаг в поперечном направлении  $S_2 = 250$  мм. Присоединение труб к барабану – на сварке. Давление в барабане  $P = 155$  кг/см<sup>2</sup>.

**Задача 2.** Определить толщину стенки трубы экономайзера, выполненного из стали 20, если давление в экономайзере  $P = 160$  кг/см<sup>2</sup>, температура воды  $t = 320^\circ \text{C}$ . Наружный диаметр трубы  $d_{\text{н}} = 32$  мм.

**Задача 3.** Подобрать материал и рассчитать на прочность трубу паронагревателя котла ТП-90, если давление пара  $P = 140$  кг/см<sup>2</sup> и температура стенки трубы  $t_{\text{ст}} = 553^\circ \text{C}$ . Наружный диаметр трубы  $d_{\text{н}} = 38$  мм.

**Задача 4.** Определить толщину стенки коллектора паронагревателя, если диаметр коллектора  $D_{\text{к}} = 273$  мм, давление в коллекторе  $P = 140$  кг/см и температура перегретого пара  $t_{\text{п.п.}} = 570^\circ \text{C}$ .

Материал коллектора – сталь 15Х1М1Ф. Коэффициент прочности коллектора в продольном направлении  $\gamma = 0,7$ .

## **Тема 2.7. Каркасы и обмуровка котла. Гарнитура.**

Каркас котла, его назначение и основные элементы. Каркас с самостоятельным фундаментом и подвесной каркас.

Назначение и виды обмуровки котла. Обмуровочные материалы, изделия и растворы. Огнеупорные и уплотнительные обмазки. Теплоизоляционные материалы и изделия, используемые в обмуровке. Конструктивное выполнение различных видов обмуровки и ее элементов.

Гарнитура котла, ее назначение и конструкция.

Особенности конструкции обмуровки и гарнитуры котла, работающих под наддувом (газоплотных котлов).

### ***Методические указания***

Каркас и обмуровка является ответственными элементами котла.

Необходимо изучить типы и конструкции каркасов, при этом обратив внимание на особенности соединения элементов котла (барaban, коллекторы и т.п.) с каркасом.

Обмуровка должна быть газонепроницаемой и в то же время термически и механически прочной.

Необходимо знать, какие обмуровочные материалы используются при обмуровке котла, основные их свойства и область применения. Следует обратить внимание на конструктивное выполнение обмуровки котлов последних выпусков. Надо также знать типы изоляционных материалов и конструктивное исполнение изоляции.

Для обслуживания топки и газоходов на котлах предусмотрена гарнитура. Необходимо знать устройство, принцип работы и назначение гарнитуры.

Учащийся должен изучить особенности обмуровки и гарнитуры котлов, работающих под наддувом.

[2], (с 222-233); [3], (с 261-271); [7], (с 307-319); [12].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каково назначение и конструктивное выполнение каркасов котельных установок?

2. Как производится крепление барабанов и коллекторов на каркасе? Нарисуйте эскизы креплений.

3. Как осуществляется крепление змеевиков пароперегревателя к каркасу котла?

4. Как осуществляется крепление экранных труб к каркасу у барабанных котлов?

5. Как осуществляется крепление топочных экранов к каркасу у прямоточных котлов?

6. Дайте эскизы и объясните особенности креплений к каркасу газоплотных панелей у котлов, работающих под наддувом.

7. Назовите типы и дайте эскизы обмуровки, применяемой в современном котлостроении. Перечислите в этой связи обмуровочные материалы.

8. Что такое торкрет? Назовите материалы, необходимые для его изготовления, и укажите область применения.

9. Для каких целей на котлах предусматривается гарнитура? Что понимается под гарнитурой?

### **Тема 2.8. Конструкции котлов тепловых электрических станций.**

Классификация энергетических парогенераторов по ГОСТу. Заводы, изготавливающие котлы для тепловых электростанций. Маркировка выпускаемых котлов.

Котлы с естественной циркуляцией на высокие и повышенные параметры пара, их конструкция.

Прямоточные котлы на сверхкритические параметры пара, изготавливаемые в СНГ, их конструкция.

Конструкции прямоточных котлов производительностью 950 – 2400 т/ч.

Котлы, работающие под наддувом (газоплотные), особенности их конструкции. Конструкции отечественных и зарубежных газоплотных котлов.

Высоконапорные котлы, их назначение и конструкция.

Перспективы развития и совершенствования конструкций котлов тепловых электростанций.

Пиковые водогрейные котлы, их назначение, конструкция. Котлы – утилизаторы.

#### ***Методические указания***

Современная котельная установка большой мощности представляет собой очень большое и сложное сооружение.

Современные котельные установки вырабатывают пар высокого давления (14-25 МПа) и высокой температуры (540-570° С).

Учащийся должен знать, что параметры пара в отечественных энергетических установках стандартизированы.

Все котлы для современных электростанций поставляют Таганрогский (ТКЗ), Барнаульский (БКЗ) котельные заводы и Подольский машиностроительный завод (ЗиО).

Учащийся должен изучить маркировку выпускаемых парогенераторов по ГОСТу и заводскую.

Необходимо разобраться в конструкциях котлов с естественной



циркуляцией, прямооточных на сверхкритические параметры и мощных котлов производительностью 950 – 3950 т/ч.

Поскольку в энергетике начали применяться газоплотные котлы, обладающие целым рядом преимуществ технического и экономического характера, и парогазовые установки, необходимо изучить конструкции и область применения котлов, работающих под наддувом, и высоконапорных котлов.

Для покрытия пиковой тепловой нагрузки на отопительных ТЭЦ устанавливаются пиковые водогрейные котлы, поэтому необходимо знать конструкцию и факторы, обеспечивающие их надежную работу.

Учащийся должен четко представлять перспективное направление в развитии и совершенствовании конструкций котлов тепловых электростанций.

[2], (с 255-267); [3], (с 272-298); [7], (с 7-14, 359-377); [11]; [12].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. По каким признакам классифицируются котлы согласно ГОСТу? Какие типы котлов вы знаете?
2. Назовите заводы-изготовители, поставляющие котлы для тепловых электрических станций, марки выпускаемых котлов.
3. Дайте схему и опишите конструкцию современного барабанного котла.
4. Изобразите и опишите конструкцию отечественного прямооточного котла на сверхкритические параметры.
5. Опишите устройство котла, работающего под наддувом, укажите его достоинства и недостатки.
6. Назначение и конструкция высоконапорных котлов.
7. Область применения, назначение и конструкция современных водогрейных котлов.

#### **Тема 2.9. Водопаровой тракт котла**

Схема водопарового тракта котла с естественной циркуляцией и прямооточного котла. Насосы, устанавливаемые в водопаровом тракте, и требования, предъявляемые к ним.

Арматура водопарового тракта котла, ее назначение, классификация. Запорные и регулирующие вентили, задвижки, обратные клапаны, регулирующие питательные и байпасные клапаны, предохранительные клапаны, водоуказательные приборы.

Трубопроводы водопарового тракта, условия их работы, применяемые материалы. Опоры трубопроводов и компенсация тепловых удлинений.

### ***Методические указания***

В процессе эксплуатации котельной установки схема водопарового тракта котла должна обеспечивать: растопку для пуска энергоустановки из холодного состояния; растопку из разных видов горячего состояния, длительную работу блока под нагрузкой; возможность частичного и полного сброса нагрузки турбиной; различные режимы останова энергоустановки.

Кроме того, при соединении турбины с котлом по схеме дубль-блока должна быть обеспечена возможность как растопки, так и останова одного из корпусов котла при работе турбины и второго корпуса под нагрузкой.

В этой связи необходимо четко представлять схемы водопарового тракта как барабанных, так и прямоточных котлов, знать их особенности.

Учащийся должен изучить устройство и назначение всех элементов (насосы, арматура, трубопроводы, компенсаторы и др.), входящих в схему водопарового тракта котлов, их классификацию, условия работы и требования, предъявляемые к ним в отношении повышения надежности работы схемы.

[3], (с 298-315); [7], (с 313-318); [12].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Изобразите схему водопарового тракта барабанного котла, обозначьте все входящие в нее элементы и объясните их назначение.

2. Какие по назначению насосы устанавливаются в схемах водопарового тракта различных типов котлов? Опишите условия их работы.

3. Какого типа насосы устанавливаются в схемах водопарового тракта на блочных электростанциях в соответствии с «Нормами технологического проектирования ТЭС и тепловых сетей».

4. Что называется арматурой? Приведите классификацию арматуры и назначение каждого вида ее.

5. Опишите назначение, принцип работы и область применения предохранительной арматуры. Дайте эскизы.

6. Зависит ли надежность и экономичность энергоустановки от качества арматуры? Какова эта зависимость?

7. Опишите условия работы трубопроводов котла и способы обеспечения их надежной работы.

### **Тема 2.10. Газовоздушный тракт котла и его оборудование. Основы аэродинамического расчета.**

Газовоздушный тракт котла, его схемы. Аэродинамические сопротивления по элементам газовоздушного тракта. Явление самотяги. Определение потерь напора в газовоздушном тракте котла. Способы создания тяги в котельной установке.

Расчет и конструктивное выполнение естественной тяги в котельной установке. Искусственная тяга. Условия работы газовоздушного тракта при уравновешенной тяге и наддуве. Виды тяго-дутьевых устройств: дымососы, дутьевые вентиляторы, вентиляторы горячего дутья, дымососы для рециркуляции газов. Типы тяго-дутьевых машин, применяемых на современных электростанциях. Конструкции дымососов и вентиляторов, их технические характеристики.

Параллельная работа тяго-дутьевых машин. Способы регулирования производительности и напора тяго-дутьевых машин. Компоновка тяго-дутьевых установок на электростанции. Выбор дымососов и вентиляторов в соответствии с «Нормами технологического проектирования тепловых электростанций и тепловых сетей».

Загрязнение поверхностей нагрева, расположенных в газовом тракте парогенератора. Способы очистки поверхностей нагрева от загрязнений. Виды обдувочных приборов и устройств, применяемых для удаления отложений.

Загрязнение атмосферы продуктами сгорания топлива, сжигаемого в котлах тепловых электростанций. Требования к чистоте воздушного бассейна в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды». Предельно допустимая концентрация летучей золы, сажи, окислов серы и азота в приземном слое атмосферы. Методы поддержания чистоты воздушного бассейна.

Золоулавливающие установки тепловых электростанций, их классификация, степень улавливания и КПД. Сухие инерционные золоуловители: батарейные циклоны, жалюзийные и сопловые золоуловители. Мокрые золоуловители. Скоростные газопромыватели. Электрофильтры. Комбинированные золоуловители. Сравнительная характеристика и область применения золоуловителей в соответствии с «Нормами технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей». Выбор золоулавливающих установок.

Виды дымовых труб, их конструктивное выполнение. Выбор высоты дымовых труб электростанций в соответствии с санитарными нормами чистоты воздушного бассейна.

### ***Методические указания***

Материал настоящей темы подробно изложен в указанной выше литературе, поэтому его изучение не должно вызвать затруднений.

Изучая тему, необходимо уяснить, что понимается под газовоздушным трактом котла, из чего складывается сопротивление газовоздушного и воздушного трактов, уметь подсчитывать сопротивление тракта и самотягу по газоходам и воздухопроводам котла.

Следует обратить внимание на конструкции, назначение и область применения тягодутьевых машин, знать их технические характеристики, способы регулирования их производительности и напора, изучить компоновки тяго-дутьевых установок на электростанциях, уметь производить выбор дымососов и вентиляторов в соответствии с «Нормами технологического проектирования тепловых электростанций и тепловых сетей».

Для нормальной и надежной работы котла необходимо бороться со шлаковыми и золовыми отложениями и поддерживать поверхности нагрева чистыми, чтобы улучшить условия теплопередачи и снизить сопротивление и износ труб.

В этой связи учащийся должен изучить способы очистки поверхностей нагрева от загрязнений и виды обдувочных приборов и устройств, применяемых для удаления отложений.

По мере укрупнения электростанций, несмотря на высокую степень очистки дымовых газов (до 99%) в современных золоуловителях, возрастает количество вредных веществ (летучей золы, сажи, окислов серы и азота), выбрасываемых в атмосферу через дымовые трубы.

Учащийся должен уяснить, что высота труб должна обеспечивать такое рассеивание вредных веществ, при котором концентрации их у поверхности земли были бы не больше предельно допустимых.

Необходимо знать требования к чистоте воздушного бассейна в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», предельно допустимые концентрации вредных веществ, выбрасываемых через дымовые трубы, уметь производить выбор дымовой трубы согласно санитарным нормам.

Учащийся должен изучить конструкции, область применения, принцип работы и эффективность золоуловителей, применяемых на ТЭС, уметь производить расчет и выбор их в соответствии с «Нормами технологического проектирования электростанций и тепловых сетей».

[2], (с 233-245); [3], (с 315-336) [5]; [7]; (с 313-319); [8]; [14]; [16].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что представляет собой газовоздушный тракт котла. Дайте его принципиальную схему и объясните назначение составляющих ее элементов.
2. Как определяются аэродинамические сопротивления по элементам газовоздушного тракта? Напишите уравнение для подсчета перепада полного давления и объясните его.
3. Каково назначение тяги и дутья в котельных установках?
4. Что такое естественная тяга? Как определить ее величину?
5. Как осуществляется искусственная тяга?

6. Для чего и как производится аэродинамический расчет котельной установки?
7. Как устроены вентиляторы и дымососы?
8. Как производится выбор вентиляторов и дымососов?
9. Как компонуются вентиляторы и дымососы по отношению к котельной установке и котельному цеху?
10. Чем вызвана открытая компоновка вентиляторов и дымососов? Каковы особенности конструкции тяго-дутьевых установок при открытой компоновке их.
11. Назовите способы регулирования тяго-дутьевых машин, сравните их.
12. Назовите способы очистки поверхностей нагрева от загрязнений и типы обдувочных аппаратов, укажите область применения и сравните их эффективность.
13. Назовите загрязнения, выбрасываемые в атмосферу через дымовые трубы, и укажите методы поддержания чистоты воздушного бассейна.
14. Назовите типы золоуловителей, применяемых на современных электростанциях, и сравните их эффективность.
15. Дайте эскизы и объясните принцип работы мокрых золоуловителей.
16. Изобразите схемы, опишите принцип работы, укажите область применения и эффективность электрофильтров.
17. Укажите назначение и опишите принципы выбора труб.

### **Тема 2.11. Золошлакоудаление**

Количество золы и шлака, подлежащие удалению на золоотвалы при работе ТЭЦ на твердом топливе. Классификация золошлакоудаления. Системы гидрозолоудаления (ГЗУ). Оборудование низконапорной части ГЗУ: золовые и шлаковые бункеры, шлаковые ванны, золосмывные аппараты; каналы ГЗУ, металлоуловители, шлакодробилки, отстойники. Оборудование высоконапорной части ГЗУ: гидроаппарат инженера Москалькова, багерные и шламовые насосы, золошлакопроводы, золоотвалы.

Пневматический и гидropневматический способы золошлакоудаления.

Сравнительная оценка различных способов золошлакоудаления. Выбор системы и оборудования золошлакоудаления в соответствии с «Нормами технологического проектирования ТЭС и тепловых сетей».

#### ***Методические указания***

Механизация трудоемких процессов, а также ликвидация тяжелого физического труда персонала и вредны условий труда побудили к созданию различных типов механизированного золоудаления. Наибольшее

распространение получило гидравлическое золоудаление и особенно гидрозолоудаление с багерными насосами.

При изучении вопросов золоудаления следует обратить основное внимание на низконапорное гидрозолоудаление в пределах котельной и высоконапорное гидрозолоудаление (с багерными насосами, аппаратами Москалькова, шламовыми насосами) за пределами котельной.

Необходимо ознакомиться с пневматическими и гидропневматическими способами золоудаления.

Учащийся должен четко представлять достоинства и недостатки всех систем гидрозолоудаления, область их применения, уметь производить выбор системы и оборудования золошлакоудаления в соответствии с «Нормами технологического проектирования ТЭС и тепловых сетей».

[2], (с 245-248); [3], (с 336-339) [8]; [15].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что нужно знать, чтобы определить количество шлаков и золы, подлежащих удалению? Напишите уравнение.

2. Назовите системы шлакозолоудаления, область их применения, достоинства и недостатки.

3. Назовите механические и гидравлические шлакоудаляющие устройства, опишите принцип работы, укажите область применения, достоинства и недостатки

4. Дайте эскизы золоудаляющих устройств и объясните принцип работы.

5. Дайте схему высоконапорной части ГЗУ с багерными насосами, объясните значение входящих в схему элементов.

6. Сравните схемы высоконапорной части ГЗУ с багерными насосами и аппаратами Москалькова. Какая схема экономичнее?

7. Для чего и как устанавливаются побудительные сопла по каналам? Как выбирается их количество?

8. Изобразите схемы пневмогидравлических систем шлакозолоудаления, объясните принцип работы, укажите область применения, достоинства и недостатки

9. Объясните сущность совместного и отдельного удаления золы и шлака, укажите область применения того и другого способа.

10. Изобразите схемы пневматического шлакозолоудаления, объясните устройство и принцип работы, укажите область применения, достоинства и недостатки

11. Укажите способы и методы повышения надежности ГЗУ

## **Тема 2.12. Котлы атомных электростанций.**

Котлы двухконтурных атомных электростанций (АЭС) с водяным, газовым и жидкометаллическим теплоносителем, принцип их работы, конструкции

Особенности конструкций котлоагрегатов атомных электростанций с реакторами на быстрых нейтронах.

Ядерные реакторы одноконтурных АЭС как генераторы пара.

Биологическая защита и дозиметрический контроль на АЭС.

### ***Методические указания***

Котлы АЭС – это теплообменники с конвективным теплообменом; один тип их подобен котлам утилизаторам на отходящих газах печей, другой подобен испарителям.

Необходимо в этой связи изучить конструкцию и принцип работы котлов двухконтурных АЭС, познакомиться с ядерными реакторами одноконтурных АЭС, которые являются генераторами пара, и особенностями конструкции реакторов на быстрых нейтронах.

Учащийся должен четко представлять виды радиационной опасности при обслуживании котлов АЭС, знать требования охраны труда и техники безопасности по защите эксплуатационного персонала, знать все способы и мероприятия, направленные на уменьшение радиационной опасности, знать способы дозиметрического контроля и его организацию на АЭС.

[2], (с 267-269); [3], (с 339-355) [7], (с 14-16).

### ***Вопросы для самопроверки***

1. В чем принципиальное отличие котлов двухконтурных АЭС от котлов одноконтурных АЭС?
2. Объясните устройство и принцип работы котла с водяным теплоносителем.
3. Дайте эскизы, укажите область применения и объясните принцип работы котлоагрегатов с газовым и жидкометаллическим теплоносителем.
4. В чем принципиальное различие котлов АЭС с реакторами на быстрых нейтронах и котлов с реакторами на медленных нейтронах?
5. Какие типы реакторов и генераторов пара вы знаете? Опишите их принцип работы, укажите достоинства и недостатки.
6. Назовите источники радиационной опасности при обслуживании оборудования АЭС и виды воздействия радиации на организм человека.
7. Опишите технические мероприятия, направленные на уменьшение радиационных вредностей.
8. В чем заключается биологическая защита от радиационной опасности.

9. Как осуществляется дозиметрический контроль при обслуживании оборудования АЭС?



## 5 Задания для домашних контрольных работ

К выполнению заданий следует приступать после изучения соответствующих разделов учебной дисциплины. Каждое контрольное задание состоит из вопросов и задач.

Каждый учащийся выполняет вариант контрольной работы согласно списку группы в журнале (см. таблицу).

Таблица

Последняя цифра списка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Номер топлива в литературе [4]	22	33	57	31	24	50	32	67	51	44	39	34	62	25	55	51	68	23	66	45	38

### Задача

Для заданного в табл. 1 топлива по справочной литературе [4] определить состав горючей массы топлива; выполнить пересчет с горючей массы на сухую и органическую.

Определить выход летучих и объяснить значение этой характеристики.

Определить теоретически необходимое количество воздуха, теоретический объем продуктов его сгорания, приведенную зольность и приведенную влажность для заданного вида топлива, а также низшую теплоту сгорания заданного вида топлива. Топливо выбрать по номеру шифра в таблице.

### Вариант 1

1. Показатели надежности работы котлоагрегата их определение.
2. Сера топлива, ее влияние на качество топлива и работу котельной установки.
3. Предварительное дробление топлива. Изобразите схему дробильной установки, объясните назначение, устройство и принцип работы входящих в нее элементов.
4. Задача (см. табл. 1.2)

## **Вариант 2**

1. Жидкое топливо, его классификация и технические характеристики.
2. Технические характеристики топлива (зольность, влагосодержание) и их влияние на процесс горения.
3. Сепараторы пыли, их виды, конструкция, область применения.
4. Задача (см. табл. 1.2).

## **Вариант 3**

1. Классификация котельных агрегатов по параметрам перегретого пара и их основные теплотехнические характеристики
2. Условное топливо. Приведенные характеристики топлива. Почему их важно знать?
3. Потеря тепла от наружного охлаждения котельной установки и способы ее определения.
4. Задача (см. табл. 1.2).

## **Вариант 4**

1. Типы котлоагрегатов, основные схемы генерация пара и область их применения.
- 2 Внешний балласт топлива, его влияние на свойства топлива и работу котлов.
3. Потери тепла с физическим теплом шлаков, способы его определения.
4. Задача (см. табл. 1.2).

## **Вариант 5**

1. Технологическая схема производства пара с барабанным котлоагрегатом, назначение входящих в нее элементов.
2. Теплота сгорания топлива и формула для его определения.
3. Потеря тепла от механической неполноты сгорания, факторы, от которых она зависит, и меры борьбы с ней.
4. Задача (см. табл. 1.2).

## **Вариант 6**

1. Элементарный состав твердого топлива на сухую массу, на рабочую массу. Объясните, почему наличие серы в составе топлива нежелательно.
2. Неполное сгорание газа. Состав продуктов неполного сгорания газа. Причины и опасность неполного сгорания газа
3. Замкнутая схема пылеприготовления с промежуточным бункером: объясните назначение, конструкцию, принцип работы.

4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 7**

1. Элементарный состав твердого и жидкого органического топлива.

Коэффициенты пересчета с одной массы топлива на другую.

2. Летучие вещества топлива, их влияние на топливо и работу парогенератора. 3. Потеря тепла с уходящими газами, факторы, от которых она зависит, и способы ее снижения.

4. Задача (см. табл. 1.2).

### **Вариант 8**

1. Технологическая схема производства пара с прямоточным котлоагрегатом, назначение входящих в нее элементов.

2. Необходимый для горения воздух, теоретическое и действительное количество его.

3. Потеря тепла и химической неполноты сгорания, причины вызывающие эту потерю, меры борьбы по ее уменьшению.

4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 9**

1. Технические характеристики твердого топлива.

2. Объем продуктов сгорания твердого и жидкого топлива и его составляющие. 3. Технологическая схема топливного тракта ТЭС, работающем на твердом топливе; назначение элементов и оборудования, входящих в схему.

4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 10**

1. Газообразное топливо, его классификация и технические характеристики.

2. Располагаемое тепло топлива, его определение и составляющие.

3. Характеристики угольной пыли

4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 11**

1. Влияние способа добычи, транспортировки и хранения твердого топлива на ее состав.

2. Энтальпия продуктов сгорания и ее составляющие на диаграмме.

3. Изобразите шаровую барабанную мельницу, объясните назначение, устройство, принцип работы и область применения.

4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 12**

1. Определение теплового баланса котла, уравнение приходной части теплового баланса и характеристика его составляющих.
2. Преимущества и недостатки горючего газ по сравнению с твердым и жидким топливом.
3. Пылеприготовление с замкнутой схемой сушки и прямым вдуванием пыли в топочную камеру, область ее применения.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 13**

1. Оптимальная величина температуры уходящих газов, факторы от которых она зависит.
2. Определение теплового баланса котла, уравнение расходной части теплового баланса и характеристика его составляющих.
3. Молотковая мельница: объясните назначение, конструкцию, принцип работы и область применения.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 14**

1. Химические элементы, состава мазута, классификация мазут по содержанию в нем соединений серы и вязкости, марки мазута, применяемые в котлоагрегатах.
2. Тепловой баланс процесса горения, для чего и как он составляется.
3. Индивидуальные разомкнутые схемы пылеприготовления: объясните назначение, конструкцию, принцип работы и область применения.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 15**

1. Естественное твердое топливо. Классификация углей, основные характеристики
2. Коэффициенты избытка воздуха в топливе и газоходах котлоагрегата, факторы, от которых они зависят и меры борьбы по их уменьшению.
3. Коэффициент полезного действия котлоагрегата брутто и нетто, методы определения и области применения того и другого метода.
4. Задача (см. табл. 1.2).

### **Вариант 16**

1. Понятие «топливо». Классифицируйте виды топлива по агрегатному состоянию и происхождению.
2. Определение коэффициентов избытка воздуха, формулы для коэффициента избытка воздуха для случаев механически и химически полного и не полного сгорания топлива.
3. Индивидуальные разомкнутые схемы пылеприготовления с промежуточным бункером: объясните назначение, конструкцию, принцип работы.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 17**

1. Понятие о происхождении твердого топлива. Основные месторождения и классификация твердого топлива.
2. Материальный баланс процесса горения и принцип его составления.
3. Сушка топлива в процессе пылеприготовления. Понятие о размольной и сушильной производительности мельниц.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 18**

1. Состав летучих веществ. Выход летучих горючих, и их влияние на сжигание топлива.
2. Теоретический объем воздуха, необходимый для организации процесса горения, от каких величин зависит и формула для его определения.
3. Индивидуальные замкнутые схемы пылеприготовления как с прямым вдуванием: объясните назначение, конструкцию, принцип работы.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 19**

1. Присосы воздуха в топке и газоходах и их влияние на работу котельной.
2. Действительный объем продуктов сгорания при полном горении топлива, от каких величин зависит и формула для его определения.
3. Механизмы, применяемые для внутростанционного транспорта топлива.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 20**

1. Прямой и обратный методы составления теплового баланса котлоагрегата.
2. Теоретический объем азота в продуктах сгорания, от каких величин зависит и формула для его определения.

3. Молотковые дробилки, принцип их работы, расход электроэнергии на работу дробилки, износ дробилки.
4. Задача (см. табл. 1.2)

### **Вариант 21**

1. Влияние содержание золы и влаги на качество топлива и работу котла.
2. Теоретический объем продуктов сгорания, от каких величин зависит и формула для его определения.
3. Пылевые циклоны пыли, принцип их работы, конструкция.
4. Задача (см. табл. 1.2)

## 6 Оценка результатов учебной деятельности при выполнении домашней контрольной работы

По результатам выполненной домашней контрольной работы выставляется отметка «зачтено». Отметка «не зачтено» выставляется, если в контрольной работе не раскрыты теоретические вопросы, задания, или ответы на них полностью переписаны из учебной литературы, без адаптации к конкретному заданию, если имеются грубые ошибки в решении задач, выполнении графического задания.

Результат выполнения домашней контрольной работы	Оценка результатов учебной деятельности
Работа выполнена не в полном объеме или не соответствует заданию и т.д. Допущены существенные ошибки, такие как не раскрыты теоретические вопросы (основные понятия, формулировки, отсутствует описание или объяснение схем; неполное описание классификации агрегатов и т. д.), если имеются грубые ошибки в решении задач (неверно или неполно произведен расчет, имеются ошибки в расчетных зависимостях, неверно указано значение из справочной литературы).	Не зачтено
Работа выполнена в полном объеме и соответствует заданию и т.д. Допущены несущественные ошибки, не искажающие сути вопроса, такие как нарушена логическая последовательность изложения ответа и (или) если ответы даны на все вопросы задания и в каждом ответе изложено не менее 75% материала от необходимого по данному вопросу.	Зачтено

## 7 Литература

### Основная:

1. Жихар Г.И. Котельные установки ТЭС: учеб. пособие/Г.И. Жихар. – Минск, «Высшая школа» 2017. – 224 с.
2. Резников М.И., Линов Ю. М. Котельные установки электростанций. «Энергоатомиздат» 1987.
3. Резников М.И. Парогенераторные установки электростанций. «Энергия» 1974.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). «Энергия» 1973.
5. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). «Энергия» 1977.
6. Линов Ю. М. и др. Компоновка и тепловой расчет парового котла, «Энергоатомиздат» 1988.
7. Стрикович М.А., Каковская Ю.И., Серпов Е.П. Парогенераторы электростанций. «Энергия» 1966.
8. Нормы технического проектирования тепловых электростанций и тепловых сетей. М.,1973.
9. Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность «Недра», 1966.
10. Резников М.И., Ливков Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций. «Энергоиздат», 1981.
11. Кроль ЛБ. Основные особенности котельных агрегатов высокого и сверхкритического давления. «Госэнергоиздат», 1962.
12. Мейкляр М.В. Современные котельные агрегаты ТКЗ «Энергия» 1978.
13. Лебедев А.Н. Подготовка и размол топлива на электростанциях. «Энергия» 1969.
14. Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П., Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. «Энергия» 1969.
15. Кузнецов П.М. Удаление шлака и золы на электростанциях. «Энергия» 1970.
16. Рихтер ЛА. Газовоздушные тракты тепловых электростанций. «Энергия» 1969.
17. Нормативный метод, Гидравлический расчет котельных агрегатов, «Энергия» 1978.
18. Методическое руководство по курсовому проекту котельного агрегата. МЭТ 2000.



19. Двойников В. А., Делев Л.В., Изюмов М.А. Конструкция и расчет котлов и котельных установок. М. «Машиностроение». 1988.

**Дополнительная:**

20. Резников М.И., Липов Ю.М. Котельные установки электростанций. Энергоатомиздат, 1987г.

21. Липов Ю.М., Самойлов Ю.Ф., Виленский Т.В. Компоновка и тепловой расчет парового котла. Энергоатомиздат, 1988г.

22. Г.И. Жихар, Котельные установки электростанций. Минск «Высшая школа», 2015г.

23. Тепловые и атомные электростанции, справочник под общей редакцией А.В.Клименко, В.М.Зорина. Издательский дом МЭИ, Москва, 2007г.

24. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). Санкт-Петербург, 1998г.

25. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). Энергия, 1977г.

26. Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод). Энергия, 1978г.

**Стандарты:**

ГОСТ 23172-78. Котлы стационарные. Термины и определения. Госстандарт, 1978г.