

Федеральное агентство по образованию

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГОУ ВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой энергетики

\_\_\_\_\_ Н.В

. Савина

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

ТОПЛИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ЗОЛОУДАЛЕНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности 140101 – «Тепловые электрические станции»

Составитель: асс. Литвиненко О.Е

Благовещенск

2007 г.

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
энергетического факультета  
Амурского государственного  
университета

*Литвиненко О.Е*

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Топливное хозяйство и золоудаление» для студентов специальности 140101 «Тепловые электрические станции». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – 42 с.

Учебно-методический комплекс предназначен для оказания помощи студентам специальности 140101 «Тепловые электрические станции» в изучении дисциплины «Топливное хозяйство и золоудаление»: формирования знаний о схемах топливного хозяйства электростанции, характеристиках топлива и их влияниях на выбор оборудования топливного хозяйства.

© Литвиненко Олеся Евгеньевна

© Амурский государственный университет, 2007

## АННОТАЦИЯ

В рамках направления 650800 «Теплоэнергетика» на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированного специалиста по специальности 140101. Государственный образовательный стандарт подготовки инженера по специальности 140101 "Тепловые электрические станции" включает изучение дисциплины "Топливное хозяйство и золоудаление" в разделе ОПД.Ф.09.

Согласно учебному плану специальности данная дисциплина изучается на третьем курсе обучения (пятый семестр), предусмотрены следующие виды занятий и формы контроля

Наименование	5-й семестр
Лекции	36
Практические занятия	18
Лабораторные занятия	-
Самостоятельная работа	+
Курсовая работа	-
Вид итогового контроля	экзамен

Учебно-методический комплекс дисциплины «Топливное хозяйство и золоудаление» включает в себя:

1. Настоящий учебно-методический комплекс.

В настоящем учебно-методическом комплексе приведен краткий конспект лекций (с указанием тем для самостоятельного изучения и вопросов для самопроверки), методические рекомендации и методические указания по проведению практических и лабораторных занятий, график самостоятельной работы и методические указания по выполнению, комплекты заданий для домашних расчетных и контрольных работ, а также материалы по контролю качества образования (методические указания по организации контроля знаний студентов, критерии оценки знаний студентов и фонды тестовых заданий).

## **1. Цели и задачи дисциплины ее место в учебном процессе**

### **1.1 Цель преподавания дисциплины**

Целью дисциплины является обеспечение знаний студентов в области технологий топливного хозяйства и золоудаления ТЭС.

### **1.2 Задачи изучения дисциплины**

Задачей изучения дисциплины является обеспечение знаний студентов в области топливно-транспортного хозяйства ТЭС и систем золоудаления. В результате изучения дисциплины студенты должны знать современные технологические приемы топливоподачи и золоудаления, методы выбора и расчет необходимого оборудования.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- характеристики топлива и их влияние на выбор оборудования топливного хозяйства,
- технологическую схему топливоподачи,
- системы золошлакоудаления,
- способы сжигания топлива,
- оборудование топливного хозяйства ( размораживающие устройства, дробильные устройства, золоуловители).

Уметь:

- рассчитывать степень золоулавливания в электрофильтре,
- рассчитывать количество шлака и золы подлежащее удалению с ТЭС.

## **2. Краткий конспект лекций**

Теоретические сведения, необходимые для изучения дисциплины изложены в [1]. Ниже приведен краткий конспект лекций, а также темы для самостоятельного изучения и вопросы для самопроверки.

## Тема 1. Виды топлива и его свойства

### *Виды топлива и его состав.*

Органическим топливом называют горючие вещества, способные активно вступать в реакцию с кислородом и обладающие значительным удельным тепловыделением (на единицу массы или объема).

В качестве энергетических топлив электростанций наибольшее значение имеют: твердое – каменные и бурые угли и отходы их переработки, антрацит и полуантрацит; жидкое – мазут; газовое – природный газ.

### *Химический состав.*

Органическая часть твердых и жидких топлив состоит из большого количества сложных химических соединений, в состав которых в основном входят пять химических элементов: углерод С, кислород О, водород Н, сера S, и азот N. Кроме того топливо содержит минеральные примеси А, попавшие в исходную залежь в основном извне, и влагу W.

Поэтому химический состав твердых и жидких топлив определяют не по количеству соединений, а по суммарной массе химических элементов в топливе в процентах от 1 кг, т.е. устанавливают элементарный состав топлива.

Различают следующие пять основных элементарных масс топлива:

- рабочая масса топлива

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100\%$$

- аналитическая масса топлива

$$C^A + H^A + O^A + N^A + S_{II}^C + A^A + W^A = 100\%$$

- сухая масса топлива

$$C^C + H^C + O^C + N^C + S_{II}^C + A^C = 100\%$$

- условная горючая масса топлива

$$C^G + H^G + O^G + N^G + S_{II}^G = 100\%$$

- органическая масса топлива

$$C^o + H^o + O^o + N^o + S^o = 100\%$$

Рабочей считается масса топлива в том виде, в каком она поступает на ТЭС. Рабочее топливо, измельченное до порошкообразного состояния и доведенное в лабораторных условиях до воздушно – сухого состояния, теряет внешнюю влагу, и масса его называется аналитической. Оставшуюся влагу топлива, связанную с его исходным веществом, называют чаще гигроскопической.

Если топливо нагреть до 102- 105°С, то испарится вся влага и тогда получится сухая масса топлива. В горючую массу топлива входят химические элементы исходного органического вещества; кроме того, сюда причисляют серу минеральных горючих соединений ( например, серного колчедана  $Fe S_2$  ), поэтому она называется условной горючей массой.

В уравнениях через  $S_{л}$  обозначена летучая сера, представляющая собой сумму колчеданной и органической серы, способной к окислению в топке:  $S_{л} = S_{к} + S_{о}$ .

Органическая масса отличается от горючей только отсутствием колчеданной серы. Кроме указанных двух видов серы, существует еще сульфатная сера, которая входит в состав высших окислов и дальнейшему окислению не подвергается. Схема элементарного состава различных масс твердого топлива приведена на рис.1. В составе топлива различают внешний балласт, состоящий из влаги и минеральной части, и внутренний балласт, входящий в исходное органическое вещество топлива. К нему относятся кислород и азот.

Горючими элементами топлива являются углерод, водород и сера. Углерод является основным горючим элементом топлива. Он имеет высокую теплоту сгорания (34,1 МДж/кг) и составляет большую часть рабочей массы топлива (50-075% в твердых топливах и 83- 85% в мазутах). Водород имеет высокую теплоту сгорания ( 120,5 МДж/кг), но

его количество в твердых топливах невелико 2-4%, в жидких 10- 11%.  
Сера 9,3 МДж/кг и содержится в топливах в малых количествах 0,3-4%.

### ***Технические характеристики твердых топлив***

Обеспечение экономичного сжигания топлив в паровых котлах зависит от знания и правильного учета ряда определяющих характеристик топлива, к которым, кроме теплоты сгорания, относятся зольность, влажность, выход летучих веществ.

**Зольность.**

Процентное количество золы по отношению к навеске натурального топлива называют зольностью топлива.

**Влажность.**

Одним из основных качественных показателей топлива является влажность. Влага, содержащаяся в топливе, подразделяется на внутреннюю и внешнюю. Внутренняя связана с органическим веществом топлива и его минеральными примесями. Внешняя влага является результатом попадания ее в топливо из окружающей среды в процессе добычи, транспортирования, хранения и обогащения мокрым способом.

С внешней влажностью топлива связано такое отрицательное явление, как ухудшение сыпучести. Топливо с повышенным содержанием внешней влаги обладает высокой вязкостью, что приводит часто к сводообразованию и зависанию его в бункерах, замазыванию и забиванию пересыпных коробов, накапливанию топлива на движущихся элементах транспортирующих машин (конвейерной ленте) и т.д.

Повышение влажности до гигроскопической не влияет существенно на сыпучесть топлива, и только при достижении определенной величины (для каждого вида топлива) наблюдается постепенная потеря сыпучести. Эту влажность принято именовать критической или предельной.

С влажностью топлива связано и другое крайне отрицательное явление – смерзаемость топлива при низких температурах, в большой степени усложняющая эксплуатацию, снижающая надежность и производительность машин и механизмов системы топливоподачи. На смерзаемость топлива влияет в основном присутствие в нем внешней влаги, которая замерзает при температуре минус 2 - 4° С; при этом происходит смерзание отдельных частиц топлива в крупные куски и глыбы. Внутренняя влага может находиться в переохлажденном состоянии при температуре минус 40 - 50° С и не приводит к смерзанию топлива.

### ***Способы сжигания твердого топлива.***

Сжигание твердого топлива в топочных устройствах может быть организовано различными способами: факельным, циклонным, в кипящем слое (рис. 2).

Факельный – сжигание угольной пыли в объеме топочной камеры во взвешенном состоянии. При этом мелкие частицы топлива легко транспортируются потоком воздуха и образующихся газов в сечении топочной камеры. Сгорание топлива происходит в этом случае в объеме топочной камеры за весьма ограниченное время (1 – 2 с). Скорость сгорания топлива, а следовательно, тепловыделение во времени определяется поверхностью горения.

Циклонный – частицы топлива находятся в интенсивном вихревом движении. Частицы топлива подвергаются интенсивному обдуванию потоком и быстро сгорают. Этот способ позволяет сжигать более грубую угольную пыль и даже дробленку. В циклоне развивается более высокая температура горения, отчего шлаки переходят в жидкое состояние.

Сжигание топлива в кипящем слое – находящееся на решетке измельченное топливо с частицами размером 1 – 6 мм продувается потоком воздуха с такой скоростью, что частицы всплывают над



решеткой и совершают возвратно – поступательные движения в вертикальной плоскости. При этом скорость газоздушного потока в пределах кипящего слоя больше, чем над ними. Более мелкие и частично выгоревшие частицы поднимаются в верхнюю часть кипящего слоя, где скорость потока снижается, и там сгорают. Кипящий слой увеличивается в объеме в 1.5 – 2 раза, его высота обычно составляет 0,5 -1 м. За счет развитой кондуктивной (контактной) передачи теплоты от раскаленных частиц к поверхности нагрева удельное тепловосприятие поверхностей в пределах кипящего слоя существенно возрастает. При этом температура газов в горящем слое остается относительно не высокой ( 800 - 1000<sup>o</sup>C), что исключает перегрев металла и уменьшает образование вредных окислов азота в продуктах сгорания. Кроме того, такой способ сжигания позволяет вводить в кипящий слой твердые присадки ( например, известняк) для нейтрализации образующихся окислов серы.

Преобразование кускового топлива в угольную пыль производится в два этапа. В начале сырое топливо подвергается дроблению до размера, не превышающего 15 – 25 мм. Затем измельченное топливо – дробленка поступает в бункера сырого угля, после чего подвергается размолу в углеразмельных мельницах до окончательного продукта – угольной пыли с размером частиц до 500 мкм. Одновременно с размолем топливо подсушивается для обеспечения хорошей текучести пыли.

*Для самостоятельного изучения*

Технические характеристики мазута и природных газов.

*Вопросы для самопроверки*

1. Характеристики плавкости золы
2. Схема элементарного состава твердого топлива

## **Тема 2. Роль и задачи топливно-транспортного хозяйства ТЭС.**

Топливоно – транспортное хозяйство современных тепловых электростанций представляет собой комплекс сооружений, машин и механизмов, предназначенных для:

- 1) приема поступающих и отправке разгруженных железнодорожных маршрутов;
- 2) размораживание топлива в полувагонах перед разгрузкой, если поступает смерзшееся топливо;
- 3) разгрузки поступивших железнодорожных маршрутов;
- 4) внутристанционного транспорта топлива к бункерам парогенераторов или на склад;
- 5) хранения и выдачи топлива со склада;
- 6) дробление топлива до установленного нормами размера кусков;
- 7) распределения топлива по бункерам парогенераторов.

Кроме того, в тракте топливоподачи устанавливают механизмы для улавливания и удаления металлических и древесных предметов из потока топлива с целью предохранения технологического оборудования от поломок, пробоотборные и проборазделочные установки, а также контрольно – измерительные приборы измеряющие количество поступающего топлива.

## **Тема 3. Способы хранения топлив**

Для обеспечения электростанции топливом создаются резервные его запасы т.е. топливные склады.

Топливо со складов используется, когда имеют место перебои или задержки в топливоснабжении и сезонные доставки топлива водным транспортом, а также для исключения перепроста железнодорожных полувагонов при разгрузке, когда бункера парогенераторов заполнены топливом.

Резервные склады электростанций, как правило, открытые и представляют спланированную площадку с дренажными устройствами,

оборудованную необходимыми механизмами и транспортными машинами.

Емкость резервных угольных складов принимается из условия обеспечения работы электростанции в течении месяца.

В тех случаях, когда электростанция расположена вблизи места добычи угля ( в пределах 100 км), допускается двух недельный запас.

Длительное хранение энергетических топлив на резервных складах сопровождается значительными потерями. Основной причиной потери теплоценности топлива при хранении является окисление горючей составляющей молекулярным кислородом. Процессы интенсивного окисления угля и торфа, сопровождающиеся выделением тепла, вызывают их самонагревание и самовозгорание, если образующиеся тепло не успевает рассеиваться. Температуру, при которой начинается интенсивное разогревание, называют критической. Для угля и торфа она равна 50-80°С.

Таким образом топливные склады классифицируют по типам механизмов, используемых для складских операций. В отечественной и зарубежной практике применяют следующие типы складов:

- 1) с поворотным штабелеукладчиком и роторным перегружателем на гусеничном ходу;
- 2) кольцевые оборудованные комплексом из штабелеукладчика и роторного перегружателя, вращающихся вертикальной оси центральной колонны;
- 3) с одной или двумя передвижными машинами непрерывного действия на колесном ходу (стаккер – реклаймер);
- 4) с мостовым краном - перегружателем;
- 5) с бульдозерами.

Кольцевой склад с поворотным штабелеукладчиком и роторным перегружателем.

Из разгрузочного устройства с ленточными конвейерами уголь подается к штабелеукладчику. Поворотным штабелеукладчиком, на стреле которого установлены два конвейера: стационарный и передвижной реверсивный – топливо подается на склад. Склад в этом случае имеет форму кольца трапециидального профиля. Со склада топливо выдается поворотным роторным перегружателем, мост которого вращается относительно той же вертикальной оси центральной колонны, что и штабелеукладчик. Центральная вертикальная колонна и бетонное кольцо, ограничивающее внутренний диаметр штабеля, являются опорами, по которым происходит передвижение штабелеукладчика и роторного перегружателя.

Описанная механизация угольного склада позволяет полностью или частично автоматизировать складские операции с производительностью до 1800 – 2000 т/ч.

#### Склады с бульдозерами.

При механизации складских операций бульдозерами на расходный и базисный склады топливо подается через подземные бункера на конвейер, расположенный в подземной галереи.

Из всех описанных способов механизации складских операций наиболее перспективной является комплексная механизация с штабелеукладчиком и роторным перегружателем, вращающимися вокруг вертикальной оси центральной колонны, так как склады, оборудованные такими комплексами имеют лучшие технико – экономические показатели.

*Для самостоятельного изучения*

1. Склад с мостовым перегружателем.
2. Склад с радиальным штабелеукладчиком и роторным перегружателем на гусеничном ходу.

## *Вопросы для самопроверки*

### 1. Типы топливных складов

#### **Тема 4. Технологические схемы топливоподачи**

Груженные полувагоны взвешивают на тензометрических железнодорожных весах грузоподъемностью до 200 т, точность взвешивания которых находится в пределах  $\pm 0,5\%$ .

После взвешивания и разогрева в размораживающем устройстве полувагоны подают на пути надвига к разгрузочному устройству. Полувагоны разгружаются в разгрузочном устройстве с двумя вагоноопрокидывателями, один из которых резервный. Из установленных под вагоноопрокидывателями бункеров топливо ленточными питателями направляется в дробилки предварительного дробления. Для предохранения дробилок от поломок попавшими в топливо металлическими предметами перед ними устанавливают шкивные магнитные сепараторы, являющиеся одновременно приводными барабанами ленточных питателей. Уловленный металл через отводной короб сбрасывается в тележку. После дробилок топливо ленточным конвейером подается в узел пересыпки, где перекидным шиббером оно может быть подано по коробам на один из последующих ленточных конвейеров, транспортирующих топливо в молотковые дробилки. Перед молотковыми дробилками предусматривается двойная система очистки топлива от металлических предметов: подвесным магнитным сепаратором и шкивным. Перед молотковыми дробилками для отсева мелких фракций топлива, не требующих дробления, устанавливается грохот или стационарная колосниковая решетка. Раздробленное до нужного размера топливо, так же как и топливо, отсеянное грохотом, поступает на ленточный конвейер, с которого может быть направлено на один из конвейеров бункерной галереи перекидным шиббером.

Для распределения топлива по бункерам парогенераторов на ленточных конвейерах бункерной галереи устанавливают стационарные или передвижные плужковые сбрасыватели.

На территории электростанции организуется резервный запас топлива на складе. Подача топлива на склад осуществляется ленточным конвейером, на который топливо подается по пересыпным коробам стационарными плужковыми сбрасывателями, установленными на конвейерах. Выдача топлива с резервного склада предусматривается системой однониточных конвейеров.

Технологическая схема топливоподачи ТЭЦ см. рис. 3

### *Вопросы для самопроверки*

#### 1. Схема топливоподачи на БТЭЦ

##### **Тема 5. Технологическая схема мазутного хозяйства**

Мазутное хозяйство современных электростанций, получающих мазут по железной дороге, включает следующие основные элементы: приемно-сливное устройство; мазутохранилище; мазутонасосную; паромазутопроводы. Технологическая схема мазутного хозяйства показана на рис. 4.

#### *Приемно – сливное устройство*

Приемно – сливное устройство предназначается для приема мазута в железнодорожных цистернах, разогрева, слива и перекачки мазута в резервуары – хранилища. Сооружения приемно – сливного устройства рассчитывают на прием цистерн грузоподъемностью 50, 60, 90, 120 т.

Для слива мазута требуется предварительный разогрев его в цистернах до температуры 60 – 70<sup>0</sup>С. Продолжительность полного цикла обработки маршрута при разогреве цистерн «открытым паром» в зимнее время составляет 10ч, в том числе время слива – 8ч. При разогреве цистерн в тепляке полный цикл обработки маршрута составляет 6 – 7 ч, в том числе время слива – 4ч.

Слив мазута из цистерн осуществляется через нижний сливной прибор самотеком в межрельсовый сливной желоб (лоток), представляющий собой железобетонный короб.

Сливной желоб оборудуется паровыми подогревателями из труб диаметром 50 мм, располагаемых по его дну и стенкам. Вдоль железнодорожных путей мазутослива сооружается эстакада с откидными мостиками для обслуживания цистерн.

По сливным желобам мазут самотеком поступает в приемные резервуары - заглубленные железобетонные емкостью 600 – 1000 м<sup>3</sup>. Приемные резервуары снабжены секционными трубчатыми паровыми подогревателями для поддержания температуры мазута в них не ниже 70°С. Перед каждым приемным резервуаром устанавливается подъемная фильтрсетка.

#### *Мазутохранилище*

Для хранения необходимого количества мазута на электростанции предусматривается мазутохранилище с металлическими или железобетонными резервуарами емкостью: для растопочных мазутохозяйств – 1000 – 1200 м<sup>3</sup>; для основных мазутохозяйств - при подаче мазута по трубопроводам 5000 м<sup>3</sup>, при подаче мазута железнодорожным транспортом 10000, 20000, 30000 и 50000 м<sup>3</sup>. Обычно резервуары основных мазутохозяйств выполняются наземными с обсыпкой или обвалованием грунтом.

Каждый резервуар оборудуется: устройствами для приема, подогрева и выдачи мазута; приборами для измерения уровня, отбора пробы мазута и др.

Емкость мазутохранилищ растопочных мазутохозяйств электростанций принимается для электростанций на твердом топливе с общей производительностью парогенераторов: 4000 т/ч и более – три резервуара по 2000 м<sup>3</sup>; менее 4000 т/ч – три резервуара по 1000 м<sup>3</sup>.

#### *Мазутонасосная*

Для подготовки мазута к сжиганию и подачи его к парогенераторам сооружается мазутонасосная, в которой размещается оборудование для разогрева и подачи мазута в парогенераторное помещение электростанций.

В зависимости от требуемого давления мазута перед форсунками парогенераторов принимается одно – или двухступенчатая схема подачи мазута. Мазутонасосная для подачи мазута в парогенераторное помещение мощной электростанции представляет собой одноэтажное здание, включающее: насосное отделение, помещение щита управления, распределительный электрический щит, камеры трансформаторов, вентиляционные установки и бытовые помещения.

Насосное отделение имеет две отметки обслуживания. В заглубленной его части (на отметке – 2,10 м) размещают мазутные насосы I подъема, насосы рециркуляции мазута, конденсатные, дренажные и загрязненных мазутом дренажей. На отметке 0,00 м размещают мазутные насосы II подъема, фильтры тонкой очистки мазута, бак и насос щелочного раствора для промывки подогревателей.

Снаружи вдоль стен и торца мазутонасосной размещают подогреватели мазута, фильтры очистки резервуаров, резервуары для сбора конденсата, расширитель, мазутолавушку, приемок дренажей и бак загрязненных мазутом дренажей.

Паромазутопроводы и конденсатопроводы прокладывают на эстакадах или в каналах. Все мазутопроводы, прокладываемые на открытом воздухе и в холодных помещениях, имеют паровые или другие обогревающие спутники в общей с ними изоляции. На мазутопроводах применяется только стальная арматура с нержавеющими уплотняющими поверхностями.

Для разогрева мазута в подогревателях, в резервуарах мазутосклада и приемной емкости, в сливных каналах и в цистернах используется пар давлением 0,8 – 1,3 МПа с температурой 200 - 250 °С. Конденсат пара



подвергается контролю, очистке от мазута и используется в цикле электростанции.

Температура мазута в парогенераторном помещении 125 - 135 °С соответствует его вязкости не более 2,5 °ВУ.

В мазутных хозяйствах тепловых электростанций применяют нефтяные насосы с характеристиками в следующих пределах:  
погружные – производительностью 600 м<sup>3</sup>/ч, напором 0,65 МПа, мощностью 160 кВт; низконапорные – производительностью 40 – 400 м<sup>3</sup>/ч, напором 0,60 – 2,15 МПа, мощностью 75 – 125 кВт;  
высоконапорные производительностью 70 – 300 м<sup>3</sup>/ч, напором 3,55 – 7,4 МПа, мощностью 160 – 500 кВт.

Подогреватели мазута применяют на рабочее давление мазута 1 МПа – площадью поверхности нагрева 200 – 400 м<sup>2</sup>, производительностью 60 – 240 т/ч; на рабочее давление мазута 4 МПа – площадью поверхности нагрева 30 – 100 м<sup>2</sup>, производительностью 15 – 30 т/ч.

*Для самостоятельного изучения*

1. Характеристики мазута
2. Типы мазутного хозяйства

*Вопросы для самопроверки*

1. Принцип работы приемно – сливного устройства
2. Основные элементы мазутного хозяйства электростанции

### **Тема 6. Технологическая схема газового хозяйства ТЭС**

Газ поступает на электростанцию от магистрального газопровода или от газораспределительной станции (ГРС) с давлением 0,7 – 1,3 МПа по одной линии подземного трубопровода. Для снижения давления газа у форсунок парогенераторов до 0,13 – 0,2 МПа предусматривается его дросселирование в газорегулирующем пункте (ГРП). Дросселирование возможно в одну или две ступени в зависимости от общего перепада давления газа.

На газомазутных электростанциях мощностью КЭС до 1200 и ТЭЦ до 900 МВт можно сооружать один ГРП. При больших мощностях сооружаются соответственно два или более ГРП.

В каждом ГРП предусматривается одна резервная установка, регулирующая давление газа. Прокладка всех газопроводов в пределах ГРП и до парогенераторов выполняется наземной. Подвод газа от каждого ГРП к магистрали парогенераторного отделения и от магистрали к парогенераторам не резервируется и осуществляется по одной линии. Арматуру на основных газопроводах устанавливают только стальную.

Принципиальная схема газоснабжения электростанции показана на рис. 5

Для очистки газа от механических примесей перед регулирующими клапанами имеются фильтры. Давление газа при входе в ГРП и после регулирующих клапанов контролируется манометрами. Количество газа, подаваемого в ГРП, регистрируется расходомером.

На газопроводах перед и после ГРП применяют задвижки с электроприводом. Для предотвращения повышения давления за регулирующими клапанами выше допустимого устанавливают предохранительный клапан.

На газопроводе к каждому парогенератору имеются: запорная задвижка, шайба расходомера, регулятор расхода газа, импульсный отсекающий быстродействующий клапан, работающий автоматически в зависимости от падения давления воздуха у горелок до заданного значения, а также при остановке электродвигателя дутьевого вентилятора или дымососа. Регулятор расхода газа управляется исполнительным механизмом системы автоматики горения по двум импульсам: давлению пара в парогенераторе и перепаду давления на диафрагме паромера. Для продувки газопроводов имеются продувочные свечи с плотными запорными устройствами.

## *Вопросы для самопроверки*

### 1. Принципиальная схема газоснабжения ТЭС

#### **Тема 7. Оборудование, применяемое на ТЭС, сжигающих твердое топливо.**

Для крупных тепловых электростанций с большим расходом топлива наиболее эффективным является пленочное оттаивание топлива от стенок полувагонов в размораживающем устройстве с последующей разгрузкой их вагоноопрокидывателем.

Разогрев полувагонов со смерзшимся топливом возможен тремя способами: конвективной передачей тепла стенкам полувагона от подогретого в калориферах воздуха или продуктов сгорания жидкого или газообразного топлива; передачей тепла излучением от газовых или электрических панелей; комбинированной передачей тепла стенкам полувагонов излучением от панелей, обогреваемых паром и имеющих температуру около 150 - 200<sup>0</sup>С, и конвекцией нагретого воздуха. На рис. 5, показано размораживающее устройство конвективного типа, в котором нагретый в паровых калориферах воздух вентилятором нагнетается в специальные короба, расположенные вдоль железнодорожного пути. Из коробов через сопла нагретый до 100<sup>0</sup> С воздух со скоростью до 10 м/с подается на боковые стенки кузова и днище полувагона.

В размораживающем устройстве комбинированного типа ( рис. 6) стенки полувагонов нагреваются от трубчатых излучателей, обогреваемых паром и имеющих температуру поверхности 150 - 200<sup>0</sup>С. Кроме трубчатых излучателей в размораживающем устройстве установлены вентиляторы для циркуляции горячего воздуха.

На электростанциях с расходом топлива свыше 150 и до 400т/ч устанавливают один вагоноопрокидыватель, выше 400 и до 1250 т/ч,

как правило, устанавливают два вагоноопрокидывателя и свыше 1250 т/ч – три и более.

Применяют следующие типы вагоноопрокидывателей:

- роторный (круговой), который разгружает полувагоны поворотом их вокруг продольной оси на угол до  $175^{\circ}$ ;
- боковой, который разгружает полувагоны подъемом и опрокидыванием их поворотом на консольной платформе;
- торцевой, который разгружает полувагоны наклоном их в сторону одного из торцов.

Топливо разгружается из полувагонов в приемные бункера, расположенные под вагоноопрокидывателем. Для предотвращения налипания и зависания топлива стенки бункеров обогреваются. В верхней части бункера перекрыты решетками, размер ячейки которых зависит от крупности поступающего топлива.

Для мелкого топлива размер ячейки принимается  $350 \times 350$  мм, для крупнокускового  $550 \times 550$  мм. Угол наклона стенок бункеров должен быть не менее  $55^{\circ}$ . Из бункеров топливо выдается ленточными питателями. Если после питателей для предварительного дробления крупнокускового топлива устанавливают дискозубчатые дробилки, то для предотвращения их поломок от случайных металлических предметов, попавших в топливо, в качестве приводного барабана питателей применяют шкивную магнитный сепаратор. Надвиг груженых полувагонов в вагоноопрокидыватель и откатка порожних механизированы. Управление вагоноопрокидывателем и механизмами по надвигу и откатке полувагонов осуществляется оператором со щита управления, расположенного в разгрузочном устройстве.

Для дробления крупных кусков и смерзшихся глыб топлива на решетках бункеров устанавливают дробильно - фрезерные машина, а для зачистки полувагонов от остатков топлива на

вагоноопрокидывателе установлены вибраторы с возмущающей силой около 45 кВ.

Транспорт твердого топлива от разгрузочных устройств до бункеров сырого топлива в главном корпусе, на склад и со склада осуществляется ленточными конвейерами. Ленточные конвейеры могут быть следующих типов: стационарные и передвижные с движением ленты в одном направлении и с движением ленты попеременно в одном из двух направлений (реверсивные).

Угол наклона конвейеров с гладкой лентой принимается не более  $18^{\circ}$  для всех видов твердого топлива. В местах загрузки конвейера крупнокусковым топливом угол наклона конвейера ограничивается  $12 - 15^{\circ}$  для предотвращения скатывания крупных кусков. Через пересыпные короба топлива загружается на верхнюю рабочую ветвь ленты и транспортируется к месту разгрузки, которая происходит через концевые барабаны или осуществляется специальными разгрузочными устройствами в необходимых местах.

Основным элементом ленточного конвейера является бесконечная лента, огибающая два или несколько барабанов и поддерживаемая роликами. Скорость движения ленты конвейера принимается от 2,0 до 2,5 м/с. На рис.7 показана схема стационарного ленточного конвейера, элементами которого являются: конвейерная лента 1, приводимая в движение приводным барабаном 2 от электродвигателя 3 через редуктор 4. Для достижения достаточного сцепления ленты с приводным барабаном и обеспечения допустимого прогиба ленты между поддерживающими роликами 5 и 6 устанавливается натяжной барабан 7 с натяжным устройством 14 (грузовое или винтовое). Рабочая ветвь конвейерной ленты между приводным и натяжным барабанами поддерживается верхними роликовыми опорами 5, холостая (нижняя) ветвь – нижними роликовыми опорами 6. Все оборудование конвейера установлено на опорных металлоконструкциях 8.

Загрузка конвейера происходит через один или несколько загрузочных коробов 9; разгрузка транспортируемого топлива – через разгрузочную (головную) воронку 10. Рабочая поверхность ленты очищается от налипшего топлива скребком 11, поверхность отклоняющего барабана 12 – скребком 13.

На тепловых электростанциях применяют конвейерные ленты с основой из хлопчатобумажной ткани или из синтетических материалов (нейлон, лавсан и т.д.). Их изготавливают многослойными. Число слоев в лентах зависит от тягового усилия, передаваемого лентой. Для предохранения прокладок от механических повреждений, абразивного износа и т.д. ленту покрывают слоем резины (обкладкой).

Производительность ленточных конвейеров зависит от ширины ленты, скорости ее движения, угла наклона боковых роликов и угла наклона конвейера. Для разгрузки ленточных конвейеров используют стационарные или передвижные плужковые сбрасыватели, реже – передвижные сбрасывающие барабанные тележки.

В районах с низкими зимними температурами ленточные конвейеры устанавливают в закрытых отапливаемых (до температуры  $+10^{\circ}\text{C}$ ) помещениях, включая галереи и эстакады. Высота галерей (эстакад) в свету по вертикали принимается не ниже 2,2 м, ширина выбирается исходя из обеспечения прохода между конвейерами не менее 1000 мм и боковых проходов вдоль конвейеров 700 мм. Через каждые 75 – 100 м предусматривают переходные мостики через конвейеры.

До поступления в мельницы парогенераторов топливо измельчается в молотковых дробилках до размеров кусков не более 15 мм, а при высокой влажности – до 25 мм.

Дробление топлива в молотковых дробилках осуществляется молотками, свободно подвешенными к ротору и вращающимися с окружной скоростью до 62 м/с.

Ударом молотков куски топлива раскалываются, отбрасываются на отбойные броневые плиты, разрушаются при ударе о них и измельчаются молотками на отбойных плитах и колосниковой решетке. Раздробленное топливо просыпается через отверстия колосниковой решетки.

Для уменьшения износа дробящих элементов, а также для снижения замазывания дробилок и расхода электроэнергии на дробление перед дробилками отсеивают мелкие фракции через стационарную колосниковую решетку.

Дробленое, а также прошедшее через решетку мелкое топливо поступает на ленточный конвейер и подается в главный корпус. Для защиты дробилок от поломок перед ними устанавливаются шкивной и саморазгружающийся подвесной магнитные сепараторы. Уловленные из потока угля металлические предметы по коробам отводятся в сборные бункера.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Принцип работы разгрузочного устройства
2. Способы разогрева полувагонов
3. Типы вагоноопрокидывателей

### **Тема 8. Автоматизация топливоподачи. Учет топлива и весовое хозяйство ТЭС на твердом и жидком топливе.**

Управления механизмами топливоподачи централизованно и осуществляется с двух пунктов:

- 1) с центрального щита управления – дистанционно ведется оперативное управление механизмами системы топливоподачи, начиная от питателей разгрузочных устройств и питателей топливного склада до конвейеров бункерной галереи в главном корпусе включительно;
- 2) со щита дистанционного управления разгрузочного устройства ведется управление вагоноопрокидывателем, дробильно – фрезерными машинами, питателями и механизмами по надвигу и откатке железнодорожных полувагонов.

На оперативной панели центрального щита размещаются мнемоническая схема технологических линий топливоподачи, ключи и кнопки управления, переключатели, лампы сигнализации положения механизмов и уровней топлива в бункерах, табло технологической сигнализации и контрольно – измерительные приборы.

Переключателями набирается технологическая схема, механизмы которой должны быть пущены. Затем проводится запуск от командоаппарата с предварительной проверкой правильности выбора пусковых механизмов по световой сигнализации. Пуск механизмов по набранной схеме ведется с последнего по ходу топлива конвейера в последовательности, обратной движению.

Запретные блокировки и технологические защиты механизмов топливоподачи исключают возникновение завалов в тракте, запрещая пуск при неправильно набранной схеме, и обеспечивают немедленную остановку всех предшествующих механизмов при аварийной остановке одного, при перегрузке электродвигателя, обрыве или пробуксовке конвейерной ленты и т.д.

Кроме блокировок и защит в тракте топливоподачи предусматривается автоматизация следующих технологических процессов и операций:

- 1) загрузка бункеров парогенераторов сбрасывающими устройствами конвейеров по сигналам от датчиков уровня топлива в бункерах;
- 2) остановка механизмов после прекращения подачи и полной разгрузки от топлива;
- 3) включение устройств для удаления из топлива посторонних металлических предметов по сигналам металлоискателей;
- 4) устранение завалов топлива в течках и коробах вибраторами, которые включаются от устройства, фиксирующего скопление топлива. Если завал не ликвидируется, то вибратор автоматически отключается и останавливается механизм, подающий топливо в течку.



Основной объем технологического контроля, автоматического регулирования, управления и сигнализации сосредоточен на щитах управления мазутонасосной и мазутослива.

Щит управления мазутонасосной располагается в отдельном помещении в здании мазутонасосной. С этого щита осуществляются контроль и управление механизмами, регулирующей и запорной арматурой мазутонасосной. Контроль технологических параметров осуществляется приборами, расположенными на панелях ЩУМ.

В случае нарушения нормальной работы мазутонасосной на центральный щит управления электростанции подается обобщенный сигнал «Неисправность мазутонасосной», расшифровка которого осуществляется на ЩУМ.

Щит управления сливом размещается в отдельном помещении на территории приемно – сливного устройства.

На этом щите размещаются приборы указателей положения уровня в приемных емкостях, дублирующие приборы контроля уровня в основных резервуарах мазутохранилища, а также аппараты управления механизмами и арматурой сливного хозяйства.

## **Тема 9. Минералогический состав и характеристика золы и шлака**

Химический и минерально-фазовый состав зол и шлаков ТЭС, их строение и свойства зависят от состава минеральной части топлива, от режима его сжигания и теплотворной способности, от способа улавливания и удаления золы и шлака, от места их отбора.

Главные составляющие золошлаковых материалов – это оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Небольшая доля приходится на сульфаты  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ; в еще меньших количествах присутствуют фосфаты, оксиды щелочных металлов  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ . В золошлаковых материалах могут содержаться биогенные ( фтор, марганец, кобальт, свинец, медь и

др.) и токсические микроэлементы ( бор, ванадий, мышьяк, бериллий и др.). Особую роль в формировании свойств золы играют гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , кальцит  $\text{CaCO}_3$  и доломит, а также продукты их частичного термического разложения – ангидрид и свободный оксид кальция. В золах всех типов содержатся сульфаты и карбонаты кальция.

Из новообразованных минералов следует отметить так называемые клинкерные минералы - силикаты, алюминаты ферриты кальция различной основности, определяющие способность намываемых золошлаковых материалов на гидрозолоотвал к самопроизвольной цементации.

Практически во всех золах содержатся органические включения (недожог) в виде кокса и полукокса - в форме либо самостоятельных частиц, либо включений в крупные фракции золы. В зависимости от типа топочной камеры ( с твердым или жидким шлакоудалением) при сжигании топлива образуются две разновидности шлака – твердый и жидкий. При жидком шлакоудалении практически все шлаки представляют собой стекло, при твердом шлакоудалении в основном стекло, и кристаллическая часть этих шлаков образована преимущественно кварцем, магнетитом, гематитом, муллитом.

Согласно классификации зола и шлак разделены на три основные группы. К первой группе отнесены золошлаковые материалы сланцев и канско – ачинского угля. Эта группа характеризуется большим содержанием общего и свободного кальция, массовая концентрация которого может достигать 60%. Зола и шлак указанных топлив обладают свойством самостоятельного твердения, их можно применять в качестве вяжущего при возведении дамб золоотвалов и изготовлении строительных изделий преимущественно методом автоклавного твердения.

Ко второй группе принадлежат золошлаковые материалы челябинского, азейского, райчихинского, печорского и некоторых других углей. Отличительная черта этой группы – общее содержание оксидов

кальция составляет 5 – 20%, а содержание свободного оксида кальция не превышает 2%. Основное направление использования золошлаковых материалов этой группы – производство изделий. Твердеющих при тепловой обработке с активизаторами.

К третьей группе отнесены золошлаковые материалы экибастузского, кузнецкого, донецкого, подмосковного углей. Для золы и шлака этой группы характерно высокое содержание кислых оксидов ( $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и низкое содержание оксидов кальция. Максимальное содержание свободного оксида кальция, который является активизатором процесса твердения, не превышает 1%, а в некоторых золошлаковых материалах его может не быть совсем. Зола и шлак этой группы можно использовать в дорожном строительстве, при производстве кирпича и зольного гравия.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Назовите химический и фазово-минералогический состав золы и шлака
2. Расскажите о классификации золы по химическому составу.

### **Тема 10. Золошлакоудаление на ТЭС**

Система удаления и складирования золы и шлака современных крупных электрических станций, называемая золоудалением, представляет собой сложный комплекс, включающий специальное оборудование и устройства, а также многочисленные инженерные сооружения. Ее назначением является удаление шлака, образующегося в топках, и золы, уловленной золоуловителями парогенераторов, транспорт их за пределы территории электростанции, часто на значительное расстояние (до 10 км и больше), и организация их складирования на золошлакоотвалах.

Различают следующие основные системы гидрозолоудаления:

- 1) совместный гидротранспорт шлака и золы (шлакозоловой пульпы) центробежными (багерными) насосами, эжекторными гидроаппаратами Москалькова, по самотечным каналам;
- 2) отдельный гидротранспорт, когда шлаковую пульпу транспортируют багерными насосами или эжекторными

гидроаппаратами, а золовую пульпу – центробежными (шламовыми) насосами, либо и шлак и золу транспортируют по отдельным самотечным каналам.

Гидротранспорт золы и шлака по самотечным каналам или трубам является наиболее простым, надежным и экономичным, но его возможно осуществлять лишь в сравнительно редких случаях, когда имеется благоприятный профиль местности и золошлакоотвал располагается на значительно более низком уровне, чем главное здание электростанции.

Раздельное удаление и складирование золы и шлака применяют:

- при наличии благоприятных местных условий, когда более экономична подача шлака на имеющийся вблизи электростанции отвал, а золы – в отвал, расположенный на более далеком расстоянии;
- при наличии соответствующих требований использования шлака и золы для различных целей, когда смешение их недопустимо.
- Наиболее универсальной и экономичной является система гидрозолоудаления с багерными насосами, транспортирующими совместно золовую и шлаковую пульпу.

Вследствие большого расхода воды в системах гидрозолоудаления – до нескольких тысяч кубических метров в час, а также повышенных требований к чистоте вод, сбрасываемых в водоемы общего пользования, системы гидрозолоудаления осуществляют с замкнутой схемой водоснабжения, когда повторно используется вода, осветленная в отстойнике золошлакоотвала.

В некоторых случаях осуществляют гидропневматическую систему золоудаления, которая отличается от чисто гидравлической тем, что для подачи шлакозоловой пульпы на золоотвал используется эрлифт.

*Для самостоятельного изучения*

- 1) Схемы гидрозолоудаления электростанции.

*Вопросы для самопроверки*

- 1) Назначение золошлакоудаления на ТЭС
- 2) Методы золошлакоудаления

### **Тема 11. Оборудование систем золошлакоудаления**

Из схем гидрозолоудаления следует, что основными их элементами являются: устройства для удаления шлака и золы из парогенератора, шлакозоловые каналы внутри парогенераторного помещения для безнапорного транспорта, багерные и шламовые насосы, шлакодробилки, эжекторные гидроаппараты, насосы смывной и эжектирующей воды и пульпопроводы для напорного транспорта гидрозолошлаковой смеси до золошлакоотвала.

Для удаления шлака из топок парогенераторов большой паропроизводительности, образующегося как в жидком, так и в твердом состоянии, служат механизированные устройства непрерывного действия – со скребковым транспортером или со шнековым транспортером.

*Для самостоятельного изучения*

- 1) Шлаковые и золовые каналы.
- 2) Конструкция и принцип работы гидроаппарата Москалькова.

*Вопросы для самопроверки*

- 1) Типы насосов используемых в системе золошлакоудаления, назначение и принцип действия.
- 2) Устройство и принцип действия эрлифтной установки
- 3) Типы шлакодробилок
- 4) Назначение насосной станции осветленной воды.

### **Тема 12. Золоотвалы**

Золошлакоотвалы представляют собой сложное гидротехническое сооружение, состоящее из емкости для осаждения золы и шлака из пульпы, осветлительного бассейна, где вода отстаивается, и дренажных устройств для выпуска осветленной воды. Емкости для осаждения золы

и шлака и для осветления воды могут быть объединены или их разделяют дамбами.

Для золошлакоотвала отводят площади, как правило, малопригодные для сельского хозяйства.

В настоящее время на ТЭС применяются оборотные системы гидрозолоудаления, в которых осветленная на золошлакоотвале вода возвращается для повторного использования. С этой целью сооружают дренируемые золошлакоотвалы, в основании которых по всей территории отвала закладывается система дренажных труб. При таких отвалах отпадает необходимость в дамбах, а качество осветленной воды выше, чем после отстойного пруда.

#### *Вопросы для самопроверки*

- 1) Каковы методические рекомендации по созданию золоотвалов.
- 2) Типы золоотвалов, их схемы.

### **Тема 13. Способы снижения вредного воздействия на окружающую среду. Консервация золоотвала.**

Для электростанций, сжигающих твердое топливо, характерным является наличие значительных площадей земли, занятых под золошлакоотвалы.

Из – за пыления золоотвалов загрязняется окружающая среда прилегающих районов, что отрицательно влияет на здоровье людей, а также на продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Одной из наиболее серьезных и сложных проблем является защита подземных и поверхностных вод от загрязнения токсичными химическими элементами и их соединениями, содержащимися в оборотных и фильтрационных водах золоотвалов.

Способы снижения вредного воздействия на окружающую среду:

- использование наблюдательных скважин,
- экранирование ложа отвалов,

- проведение рекультивации (консервации) золоотвалов.

*Вопросы для самопроверки*

- 1) В чем проявляется влияние золошлакоотвалов на окружающую среду
- 2) Способы снижения вредного воздействия на окружающую среду
- 3) Как защитить подземные и поверхностные воды от загрязнения и влияния золоотвалов.

#### **Тема 14. Использование золошлаковых материалов в народном хозяйстве.**

Зола и шлак могут широко использоваться при производстве строительных материалов, цемента, в дорожном строительстве, в сельском хозяйстве и т.д.

### **3. Практические занятия, их содержание и объем в часах**

Практические занятия предусматривают решение задач по темам дисциплины. Основные расчетные формулы, необходимые для решения задач, задачи (с ответами), примеры решения типовых задач и необходимый справочный материал приведены в [4].

В начале практического занятия следует вспомнить необходимые для решения задач теоретические сведения (работа с аудиторией). Далее разбираются несколько (три, четыре – в зависимости от объема) типовых задач. Приводится (если это необходимо) алгоритм решения типовых задач. Разбираются примеры типовых ошибок. Далее для решения предлагаются более сложные задачи (одна, две), требующие креативного подхода.

#### *Тема 1*

Поверочный расчет и выбор стационарных подогревателей мазута. (4 часа)

Алгоритм поверочного расчета подогревателей мазута типа ПМ.

Исходными данными для поверочного расчета являются: марка мазута; расход мазута  $G_m$ , м<sup>3</sup>/с; начальная температура мазута  $t_{1m}$ , номинальная конечная температура мазута  $t_{2m}$ , давление греющего пара  $P_{gp}$ , Па; температура перегретого пара  $t_n$ , удельная теплоёмкость перегретого пара  $c_{pn}$ , Дж/(кг К); температура насыщенного пара  $t_n$ , материал труб; геометрические характеристики аппарата: число труб  $n$ ; число ходов трубного пространства  $z_T$ ; длина труб  $L$ , м; наружный диаметр труб  $d_n$ , м; внутренний диаметр труб,  $d_{вн}$ , м; площадь поверхности теплообмена  $F$ , м<sup>2</sup>; теплофизические характеристики конденсата: плотность  $\rho_k$ , кг/м<sup>3</sup>; кинематическая вязкость  $\nu_k$ , м<sup>2</sup>/с; удельная теплота парообразования  $r_k$ , Дж/кг.

1. Задаемся в первом приближении конечной температурой мазута  $t_{2M}$ , принимая ее отличной от номинальной на некоторое произвольное значение.

Выбор оптимального значения первого приближения  $t_{2M}$  для всех марок подогревателей ПМ рекомендуется производить по формуле

$$(t_{2M})_0 = a + bP_{gp} + cG_m + dt_{1M},$$

где значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов для выбора в первом приближении конечной температуры мазута  $t_{2M}$  при поверочном расчете подогревателей мазута типа ПМ.

Тип (марка) мазутоподогревателя	a	b	c	d
ПМ – 40- 15	142,7	6,7	-9000	0,38
ПМ – 40 - 30	142,7	6,7	-4500	0,38
ПМ – 10 – 60	108,9	35	-1750	0,38
ПМ – 10 - 120	131,5	25	-1125	0,35

Рекомендуемая формула по структуре аналогична формулам для расчета теплофизических характеристик мазута и обеспечивает сходимость в первой – третьей итерациях.



2. Определяем теплофизические характеристики мазута  $\lambda_M, c_{pM}, \rho_M, \nu_M, \mu_M$

Теплофизические характеристики мазута рассчитываются при средней температуре его в подогревателе

$$\bar{t}_M = 0.5(t_{1M} + t_{2M}),$$

где  $t_{1M}, t_{2M}$  - начальная и конечная (номинальная) температуры мазута на входе в подогреватель и выходе из него.

Для определения теплофизических характеристик мазута в зависимости от температуры рекомендуются следующие формулы:

для плотности, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho_M = [0.881 - 0.00304(t - 68)] * 10^3;$$

для удельной теплоемкости, кДж/(кг\*К),

$$c_{pM} = 1.7364 + 0.00251t;$$

для удельной теплопроводности, Вт/(м\*К),

$$\lambda_M = 0.158 - 0.0002093(t - 20);$$

для кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с,

$$\nu_M = \{ \exp_{10}(\exp_{10}[9.8555 - 3.7451 \lg(t + 273)]) - 0.8 \} * 10^{-6}.$$

3. Находим теплопроизводительность подогревателя

$$Q_M = G_M c_{pM} \rho_M (t_{2M} - t_{1M})$$

4. Задаемся значениями температурного напора пар – стенка  $\Delta t_1$  и коэффициента потерь теплоты в окружающую среду  $\eta_{II}$ . В первом приближении для внутреннего итерационного процесса  $(\Delta t_1)_0$  следует выбирать из диапазона значений 0-2<sup>o</sup>C.

5. Определяем расход греющего пара по формуле

$$G_{II} = Q_M / (r_k * \eta_{II}),$$

где  $\eta_{II}$  - коэффициент потерь теплоты в окружающую среду. Принимаемый  $\eta_{II} \approx 0,96 - 0,98$ .

6. Находим средний коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующего пара по формуле

$$\bar{\alpha}_{II} = 2,02 \varepsilon \lambda_{\kappa} \sqrt[3]{\rho_{\kappa}^2 L n / (\mu_{\kappa} G_{II})},$$

где  $\varepsilon$  - поправочный коэффициент на число труб в горизонтальном пучке; если  $n \leq 100$  ( $n$  – число труб), то  $\varepsilon = 0,7$ , а если  $n > 100$ , то  $\varepsilon = 0,6$ ;  $L$  – длина труб;

7. Определяем значение температуры стенки трубы со стороны мазута  $t_{CT2}$  по формуле

$$t_{CT2} = t_{CT1} - \alpha_{\Pi} \Delta t_1 (\delta_{CT} / \lambda_{CT}),$$

где  $\delta_{CT}$  - толщина стенки труб;

$\lambda_{CT}$  - теплопроводность материала стенки труб;

$t_{CT1} = (t_H - \Delta t_1)$  - температура стенки трубы со стороны конденсирующего пара;

$\Delta t_1 = t_H - t_{CT1}$  - частный температурный напор пар – стенка.

8. Рассчитываем средний коэффициент теплоотдачи со стороны мазута

$$\alpha_M = \frac{\lambda_M}{d_{BH}} 1,62 (\text{Re}_M \text{Pr}_M \frac{d_{BH}}{L})^{1/3} \left( \frac{\mu_M}{\mu_{CT}} \right)^{0,14} (1 + 0,015 \text{Gr}_M^{1/3}),$$

где  $\mu_M$ ,  $\mu_{CT}$  - динамические вязкости мазута при температурах  $t_M$  и  $t_{CT2}$ ;

число Рейнольдса для мазута:

$$\text{Re}_M = \frac{W_M d_{BH}}{\nu_M}, \text{ здесь}$$

$W_M = \frac{4G_M z_T}{\pi d_{BH}^2 n}$  - средняя скорость течения мазута в гладких трубах ( $n$  - число труб;  $z_T$  - число ходов межтрубного пространства);

$d_{BH}$  - внутренний диаметр труб;

число Прантля для мазута:

$$\text{Pr}_M = \frac{\nu_M \rho_M c_{pM}}{\lambda_M};$$

число Грасгофа для мазута:

$$\text{Gr}_M = \frac{g d_{BH}^3 \beta_M \Delta t_2}{\nu_M^2};$$

здесь  $g$  – ускорение свободного падения;

$\beta_M$  - коэффициент объемного расширения мазута

$$\beta_M = \frac{\rho_{1M} - \rho_{2M}}{\rho_{2M}(t_{2M} - t_{1M})}$$

$\rho_{1M}$  и  $\rho_{2M}$  - плотности мазута при температурах  $t_{1M}$ ,  $t_{2M}$ .

$\Delta t_2 = t_{CT2} - \bar{t}_M$  - разность между температурой стенки  $t_{CT2}$  со стороны мазута и средней температурой мазута в подогревателе или частный температурный напор стенка – мазут.

9. Определяем коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_M} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_{II}}};$$

10. Уточняем температурный напор пар – стенка

$$\Delta t_1' = k \Delta t_{лог} / \alpha_{II}$$

11. Определяем погрешность расчета по внутренней итерации по формуле

$$\varepsilon_t = \left[ \frac{\Delta t_1 - \Delta t_1'}{\Delta t_1} \right]$$

Если  $\varepsilon_1 \leq 0.03 \div 0.05$ , то расчет продолжается дальше; если  $\varepsilon_1 > 0.03 - 0.05$ , то  $\Delta t_1$  присваивается значение  $\Delta t_1'$  и расчет повторяется, начиная с определения  $t_{CT2}$ .

Таким образом, приведенная методика составляет внутреннюю итерационную процедуру поверочного расчета подогревателя мазута типа ПМ.

12. Далее совершается переход к основной внешней итерационной процедуре расчета.

Находим площадь поверхности теплообмена,  $m^2$ :

$$F_p = 1.25 Q_M / (\Delta t_{лог} * k),$$

где 1,25 – коэффициент, учитывающий загрязнение поверхности теплообмена.

13. Вычисляем погрешность расчета:

$$\varepsilon_F = \left[ \frac{F - F_p}{F} \right].$$

Если  $\varepsilon_F < 0.03 \div 0.05$ , то расчет можно считать законченным. Если же это условие не выполняется, то в случае  $F_p > F$  температура  $t_{2M}$  уменьшается на значение шага итерационной процедуры  $h_i$ , и наоборот, если  $F_p < F$ , то  $t_{2M}$  увеличивается на значение  $h_i$ . Для подогревателей

мазута типа ПМ шаг внешнего итерационного процесса  $h_i$  по вычислению  $t_{2M}$  и F рекомендуется выбирать в диапазоне 1 - 2° С.

#### *Тема 2*

Структурный анализ теплотехнологических схем мазутных хозяйств. (4 часа)

#### *Тема 3*

Расчет ленточных конвейеров. (2 часа)

#### *Тема 4*

Расчет пневмогидравлических систем золошлакоудаления. (4 часа)

#### *Тема 5*

Расчет механических и механогидравлических систем золошлакоудаления. (4 часа)

### **3.1. Самостоятельная работа студентов**

Самостоятельная работа предусматривает подготовку к лекционным и практическим занятиям.

### **3.2. Перечень промежуточных форм контроля знаний.**

К промежуточным формам контроля знаний относятся блиц-опрос на лекциях и контрольные работы. Ниже представлены содержания контрольных работ по изучаемым темам.

### **Задания для текущей проверки знаний**

#### **Контрольная работа № 1**

#### **«Поверочный расчет подогревателей мазута типа ПМ»**

Исходными данными для поверочного расчета являются: марка мазута; расход мазута  $G_m$ , м<sup>3</sup>/с; начальная температура мазута  $t_{1M}$ , номинальная конечная температура мазута  $t_{2M}$ , давление греющего пара  $P_{gp}$ , Па; температура перегретого пара  $t_n$ , удельная теплоёмкость перегретого пара  $c_{pn}$ , Дж/(кг К); температура насыщенного пара  $t_n$ ,

материал труб; геометрические характеристики аппарата: число труб  $n$ ; число ходов трубного пространства  $z_r$ ; длина труб  $L$ , м; наружный диаметр труб  $d_n$ , м; внутренний диаметр труб,  $d_{вн}$ , м; площадь поверхности теплообмена  $F$ , м<sup>2</sup>; теплофизические характеристики конденсата: плотность  $\rho_k$ , кг/м<sup>3</sup>; кинематическая вязкость  $\nu_k$ , м<sup>2</sup>/с; удельная теплота парообразования  $r_k$ , Дж/кг.

## Контрольная работа № 2

### «Расчет ленточных конвейеров»

Исходными данными для расчета являются: весовая производительность конвейера  $B$ , т/ч; скорость ленты  $c$ , м/сек;  $\gamma_n$ , насыпной вес топлива, т/м<sup>3</sup>; угол естественного откоса угля  $\alpha$ ; длина конвейера между центрами приводного и концевых барабанов  $L$ , м; высота подъема по вертикали между центрами приводного и концевых барабанов  $H$ , м. Необходимо рассчитать ширину ленты для горизонтального конвейера, мощность на валу приводного барабана ленточного конвейера, мощность на валу электродвигателя.

## Контрольная работа № 3

### «Расчет пневмогидравлических систем золошлакоудаления»

К пневмогидравлическим системам относят системы с водовоздушным эжектором и эрлифтами. Целью расчета является определение потребляемых расхода воды и воздуха, мощности, необходимых параметров оборудования, обеспечивающего транспортировку материала.

Исходными данными для расчета являются: тип схемы транспортировки золы и шлака; количество работающих котлов и золоуловителей и их характеристики; расход золы; типы смывных аппаратов, плотность и температура золы; количество ванн, шахт или других устройств подачи шлака; расход, плотность, температура шлака;

трасса золошлакоудаления с указанием длин всех участков и используемого оборудования.

#### Контрольная работа № 4

##### «Расчет скреперных систем золошлакоудаления»

Целью расчета является выбор скрепера и определение необходимой мощности двигателя скреперной лебедки, а также определение геометрических характеристик конвейеров.

Исходными данными для расчета являются: массовый расход и плотность материала; наибольший размер характерных кусков груза; углы наклона к горизонту участков трассы, длины отдельных участков трассы, зачерпывания, доставки; скорости рабочего хода, зачерпывания, холостого хода; продолжительность пауз, связанных с переключением барабана.

### 3.3. Вопросы к экзамену

1. Свойства твердого топлива
2. Роль и задачи топливно-транспортного хозяйства ТЭС
3. Складское хозяйство ТЭС на твердом топливе. Виды. Основные требования по закладке и хранению его.
4. Топливное хозяйство тепловых электростанций на твердом топливе
5. Топливное хозяйство ТЭС на жидком и газообразном топливе
6. Устройства для разгрузки твердого топлива. Виды. Особенности выгрузки зимой
7. Технологическая схема мазутного хозяйства
8. Оборудование мазутного хозяйства, схемы разгрузки и приготовления мазута к сжиганию на ТЭС
9. Технологическая схема газового хозяйства ТЭС
10. Бункера топливоподачи: назначение их конструктивные решения
11. Дробилки, питатели угля. Назначение, принцип работы

12. Устройство ленточных конвейеров
13. Натяжные устройства ленточных конвейеров
14. Приводные станции ленточных конвейеров. Устройство, принцип работы
15. Устройства для удаления посторонних предметов из топлива. Устройство, принцип работы.
16. Обеспылевание тракта топливоподачи ТЭС на твердом топливе. Технические решения.
17. Автоматизация топливоподачи
18. Учет топлива и весовое хозяйство ТЭС на твердом, жидком топливе
19. Минералогический состав и характеристики золошлаковых материалов, его количество.
20. Золошлакоудаление на ТЭС. Назначение, основные технические решения
21. Технологическая схема безнапорного гидрозолошлакоудаления. Устройство. Основные элементы
22. Технологическая схема напорного гидрозолошлакоудаления. Оборудование, методика расчета
23. Системы пневматического и пневмогидравлического золоудаления. Назначение, принцип работы
24. Шлакоудаляющие устройства, шлакодробилки, золосмывные аппараты. Устройство и принцип работы
25. Эрлифтные установки золошлакоудаления. Устройство, принцип работы
26. Насосные станции осветленной воды. Устройство, принцип работы
27. Водоснабжение систем гидрозолоудаления. Основные технические решения. Водный баланс
28. Золоотвалы. Типы и назначения.
29. Охрана окружающей среды. Способы снижения вредного воздействия на окружающую среду. Консервация золоотвалов

30. Использование золошлаковых материалов в народном хозяйстве.  
Устройства для отбора золы на ТЭС

### **Критерии оценки знаний студентов**

Итоговой формой контроля знаний студентов по данной дисциплине является экзамен. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по изученному курсу и задачу. В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной системе.

Оценка «отлично» ставится в случае правильных и полных ответов на оба теоретических вопроса билета и правильного решения задачи.

Оценка «хорошо» ставится в случае:

- правильного, но неполного ответа на один из теоретических вопросов билета, требующего уточняющих дополнительных вопросов со стороны преподавателя или ответа, содержащего ошибки не принципиального характера, которые студент исправляет после замечаний (дополнительных вопросов) преподавателя; правильного решения задачи;

- правильных и полных ответа на оба теоретических вопроса билета; затруднений при решении задачи, с которыми студент справляется после помощи преподавателя.

Оценка «удовлетворительно» ставится в случае:

- ответов, содержащего ошибки принципиального характера на теоретические вопросы билета; правильного решения задачи;

- неверного ответа (отсутствия ответа) на один из теоретических вопросов билета; решения задачи после незначительной помощи преподавателя;

- правильных и полных ответов на оба теоретических вопроса билета; неверного решения задачи (не справился с задачей после помощи преподавателя).

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае:



неверных ответов (отсутствия ответов) на оба теоретических вопроса билета;

неверного ответа (отсутствия ответов) на один из теоретических вопросов билета и неверного решения задачи.

#### **4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

##### **4.1. Литература**

Основная литература:

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. – М.: Изд – во Энергия, 1976
2. Назмеев Ю.Г. Системы золошлакоудаления ТЭС. – М.: Изд-во МЭИ, 2002

Дополнительная литература:

1. Гаврилов Е.И. “ Топливо – транспортное хозяйство и злооудаление на ТЭЦ “ М. Энергоатомиздат , 1987
2. Повышение Экологической безопасности ТЭС. / Под. ред. Седлова А.С. М.: Изд-во МЭИ, 2002
3. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Т. Тепловые и атомные электрические станции. Учебник для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.
4. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М «Теплообменные аппараты ТЭС». Учебное пособие для вузов. – М.: Изд – во МЭИ, 2005г.