

Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт энергетики и транспортных систем
Кафедра атомная и тепловая энергетика

Работа допущена к защите

Заведующий кафедрой

_____ А.А. Калютик

«__» _____ 2018г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ПРОЕКТ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С КОТЛОМ Е-270-14,0

РАБОТАЮЩЕМ НА МЕЖРЕЧЕНСКОМ УГЛЕ

по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

по образовательной программе

13.03.01_02 Тепловые электрические станции

Выполнил
студент гр.43221/2

Д.И. Алисов

Руководитель
доцент, к.т.н.

А.А. Тринченко

Санкт-Петербург

2018

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
Кафедра “Атомная и тепловая энергетика”

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиТЭ

_____ А.А. Калютик

«21» мая 2018 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра

студенту Алисову Дмитрию Игоревичу, группа 43221/2

1. Тема работы: Проект котельной установки с котлом Е-270-14,0, работающем на межреченском угле.
2. Срок сдачи студентом законченной работы: 13 июня 2018 г.
3. Исходные данные по работе: нормативные материалы; литература по исследованию и эксплуатации котлов с естественной циркуляцией; материалы кафедры АиТЭ и других организаций (публикации, отчеты, диссертации и т.д.); нормативная литература, патентная информация фундаментальной библиотеки СПбПУ.
4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):
Реферат работы.
Введение.
Краткое описание и характеристики котельного агрегата.
Расчет системы пылеприготовления.
Аэродинамический расчет котельной установки.
Обеспечение чистоты воздушного бассейна и природоохранные мероприятия.
Расчеты, подтверждающие выбор и работоспособность оборудования.
Заключение.
Список использованных источников.
5. Перечень графического материала: презентация, общие виды котла, компоновка оборудования.
6. Дата выдачи задания 21.05.2018

Руководитель ВКР _____ доц. А.А. Тринченко

Задание принял к исполнению 21.05.2018 _____ студент Д.И. Алисов

РЕФЕРАТ

На 63 страницы, 10 рисунков, 2 таблицы, 2 приложения.

КОТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА, КОТЕЛ, УГОЛЬ, ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ШЛАКОУДАЛЕНИЕ

В данной работе произведен расчет проекта котельной установки с котлом Е-270-14,0, работающем на межреченском угле. Даны общие понятия и принципы работы котельного агрегата. Проведен позонный расчет топочной камеры котельного агрегата. Проведен подбор оборудования, для системы пылеприготовления. Произведены расчеты экологических показателей установки и предложены природоохранные мероприятия. Выполнена компоновка котельного агрегата и вспомогательного оборудования.

THE ABSTRACT

63 pages, 10 pictures, 2 tables, 2 applications.

BOILER PLANT, BOILER, COAL, DUST-SUPPLY SYSTEM, ELECTRIC STATION, PROJECTION, SLAG REMOVAL SYSTEM

In this work, the calculation of the project boiler plant with a boiler E-270-14,0 working on mezhrechensky coal. General concepts and principles of operation of the boiler unit are given. The calculation of the furnace chamber of the boiler unit was carried out. The selection of equipment for the system of dust preparation. The calculations of environmental performance of the installation and proposed environmental protection measures. The layout of the boiler unit and auxiliary equipment is made.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА	7
1.1. Описание котельного агрегата	7
1.2. Позонный расчет	11
1.3 Тепловой расчет изоляции топочной камеры	16
ГЛАВА 2. СИСТЕМА ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ	19
2.1. Описание топливного хозяйства	19
2.2. Схема пылеприготовления	19
2.3. Бункеры сырого угля	20
2.4. Питатели и точки	22
2.5. Мельница и сепаратор	23
2.6. Пылеугольные горелки	24
2.7. Система шлакоудаления	26
ГЛАВА 3. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	30
3.1. Основные положения аэродинамического расчета	30
3.2. Воздушный тракт котельного агрегата	31
3.3. Газовый тракт котельного агрегата	31
3.4. Золоулавливание и выбор электрофилтра	32
ГЛАВА 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧИСТОТЫ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ	34
4.1. Расчет выбросов твердых частиц	34
4.4. Выбор размеров дымовой трубы	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	41
Приложение 1. Расчет системы пылеприготовления	43
Приложение 2. Аэродинамический расчет	52

ВВЕДЕНИЕ

Долгое время во всем мире продолжается рост промышленного производства и бытового потребления энергии. Предприятия и бытовые потребители нуждаются в бесперебойной электрической энергии, тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. В связи с этим особо важным становится поиск решений, касающихся поиска этих источников энергии, их рациональное использование, проектирование новых электрических станций, с учетом современных экологических требований и норм.

Основным агрегатом тепловой электрической станции, работающей по циклу Ренкена, является паровой котёл – устройство для генерации пара. Рабочим телом для получения пара служит вода, а теплоносителем - продукты горения органического топлива, в частности продукты горения угля.

На данный момент, проектирование электростанции, работающей на угле, является наилучшим вариантом в связи с тем, что запасы угля на данный момент наибольшие в сравнении с альтернативными вариантами, а снабжение станции природным газом становится ненадежным, так как цены на него непредсказуемы.

Одним из главных вопросов, стоящих во время проектирования электростанции, является выбор местоположения. Электростанция, основанная на данной котельной установке, обеспечивается топливом Межреченского месторождения, находящегося в 5 км от границы города Червоноград с населением около 100 тыс. человек. Вблизи города имеется источник воды – река Западный Буг, достаточно незастроенной территории, множество бытовых и промышленных потребителей тепловой и электрической энергии. Доставка угля на станцию будет осуществляться с помощью развитой системы железных дорог.

Современные ТЭЦ могут иметь блочную или неблочную структуру. Основными преимуществами блочной структуры являются их дешевизна и простота автоматизации. В случае блочной структуры, станция состоит из отдельных энергоблоков, в состав каждого энергоблока входят основные агрегаты:

котельный, турбинный и вспомогательное оборудование. Турбина вместе с котельным агрегатом образует моноблок. Выбрать такую структуру предпочтительней.

Таким образом, целью дипломной работы является проектирование котельной установки с котлом Е-270-14, работающем на каменном угле Межреченского месторождения. В ходе работы по заданным параметрам пара и питательной воды необходимо произвести тепловой расчёт котельного агрегата, системы пылеприготовления, аэродинамический расчёт газового и воздушного трактов, провести экологические расчёты и обеспечить чистоту воздушного бассейна в соответствии с нормами ГОСТ.

ГЛАВА 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

1.1. Описание котельного агрегата

Исходя из параметров, приведенных в табл.1.1, принимается конструкция котельного агрегата.

Таблица 1.1

Параметры котельного агрегата

Наименование	Обозначение	Величина	Размерность
Тип котла	-	Е	-
Паропроизводительность	D	270	т/ч
Давление пара	p_{nn}	140	кг/см ²
Температура пара	t_{nn}	520	°С
Давление питательной воды	p_{nw}	160	кг/см ²
Температура питательной воды	t_{nw}	215	°С

При проектировании пылеприготовительной системы необходимо пользоваться характеристиками исходного топлива, приведенными в табл.1.2.

Таблица 1.2

Характеристики топлива

Наименование	Обозначение	Величина	Размерность
Влажность	W^r	12	%
Зольность	A^r	30,9	%
Содержание серы	S^r	2,67	%
Содержание углерода	C^r	46,56	%
Содержание водорода	H^r	3,1	%
Содержание азота	N^r	0,67	%
Содержание кислорода	O^r	4,1	%
Низшая теплота сгорания	Q_i^r	4311	ккал/кг
Приведённая влажность	W_{np}^r	2,07	%·кг/МДж
Выход летучих	V^{daf}	36	%

Коэффициент размоловоспособности	$K_{ло}$	1,3	-
----------------------------------	----------	-----	---

Согласно нормативной методике [1] спроектирован котельный агрегат Е-270-14,0-520 с КПД равным 92,7%. Для котла производительностью выше 75 тонн пара в час по рекомендации из нормы [1] возможен только факельный способ сжигания топлива. Принимаем П – образную компоновку котельного агрегата, она нашла широкое распространение в отечественной энергетике, проста и имеет определенные преимущества над другими компоновками. Проектируемый котёл имеет естественную циркуляцию, при короткой движение рабочего тела создается под воздействием напора циркуляции, естественно возникающего при обогреве этих труб, вследствие разности плотностей жидкости и пароводяной смеси. Движение рабочего тела в циркуляционном контуре многократное. Эскиз котельного агрегата представлен на рис.1.1.

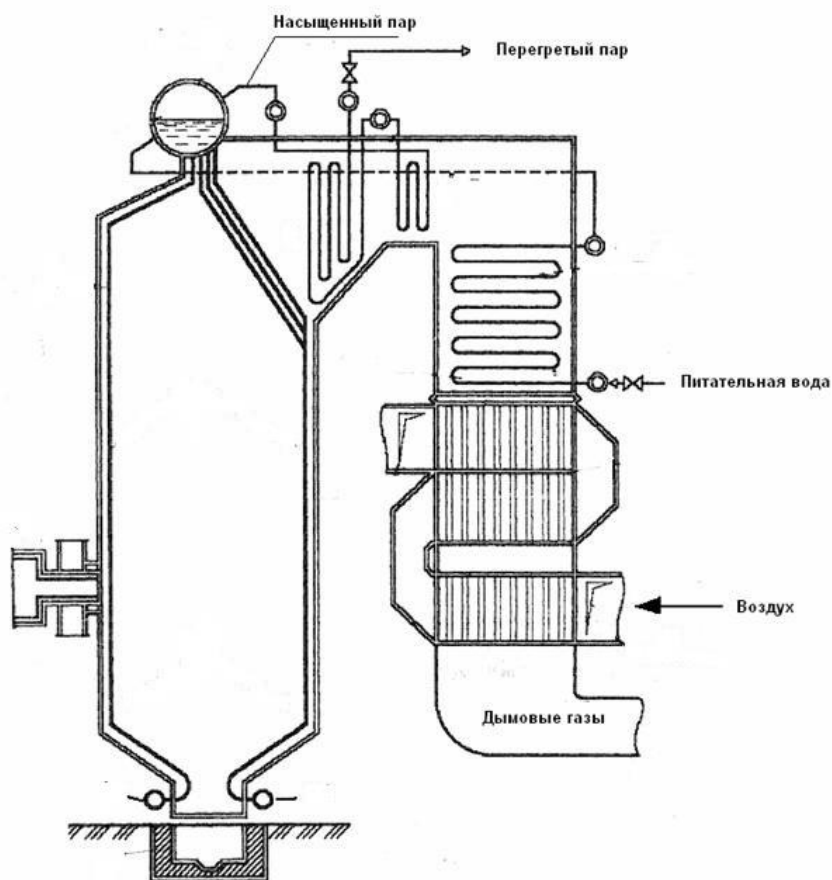


Рисунок 1.1. Эскиз котельного агрегата

Топочная камера состоит из газоплотных экранных панелей, которые состоят из трубок, наполненных водой, а вода, в свою очередь, испаряется за счет теплоты переданной от сжигаемого топлива в топке.

Далее пароводяная смесь попадает в барабан, ключевой и наиболее ответственный элемент котельного агрегата, так как находится под давлением 15,9 МПа, а его корпус ослаблен множеством отверстий, наличие которых обусловлено потребностями трубной системы, поэтому барабан имеет большую толщину стенки – 9 см. В барабане, внутренний диаметр которого 1600 миллиметров происходит отделение пара от воды, и образуется запас воды в котельном агрегате. Для поддержания солесодержания котловой воды на заданном уровне применяется непрерывная и периодическая продувка.

Вода по опускным трубам вновь попадает в топочные испарительные экраны, а пар направляется на перегрев до требуемой температуры, проходя дополнительные поверхности нагрева, потолочный пароперегреватель, настенный радиационный пароперегреватель, а затем проходит поверхности, расположенные в горизонтальном газоходе: холодную ступень, ширмовый полурадационный перегреватель, горячую ступень и направляется в коллектор острого пара. Применяем противоточную схему движения сред – пар в пароперегревательных поверхностях движется навстречу уходящим газам.

Для очистки данных поверхностей нагрева от шлаковых и золовых отложений применяется выдвижное обдувочное устройство. Обдувочный аппарат применяется для очистки конвективного пароперегревателя с коридорным пучком труб, работающих при температуре газов до 700-750 градусов. Для обдувки используется перегретый пар с параметрами 300 С° при давлении 2-3 МПа. Жаропрочная труба с двух противоположных сторон по окружности имеет сопла с определённым шагом, через которые обдувочный пар попадает в междурядье и при поворотах трубы на 360° удаляет осевшую на трубах летучую золу в радиусе до 1 метра. Частота обдувки примерно 1 раз в смену длительностью 1 минуту производится дистанционно-автоматически в последовательном порядке по ходу газов [2, с.245].

В хвостовой части агрегата – конвективной шахте расположены два воздухоподогревателя и два экономайзера согласно схеме «в рассечку», обеспечивающие температуру уходящих газов, равную 146 °С. Воздухоподогреватели трубчатого типа, высокоплотные. Конструкции воздухоподогревателей обеспечивают требуемую температуру горячего воздуха 300 °С. Вода, как рабочее тело установки поступает в змеевики экономайзера принудительно, с помощью питательных насосов. Экономайзеры состоят из труб и коллекторов, изготовленных из высококачественной углеродистой стали и обеспечивают на выходе температуру питательной воды равную требуемым 200 °С.

Для очистки поверхностей нагрева от шлаковых и золовых отложений применяется дробеочистка. Её сущность заключается в том, что на поверхности нагрева конвективной шахты разбрасывается стальная дробь диаметром 4-5 мм., ударяясь о трубы сбивает золовые отложения. В нижней части шахты, после всех поверхностей нагрева дробь собирается в бункер подаётся в дробепровод на дальнейшее использование. Доставляется вверх с помощью воздушного напора [2, с.248].

Для удобного и безопасного обслуживания котлов, пароперегревателей и экономайзеров должны быть установлены постоянные площадки и лестницы с перилами высотой 1 м со сплошной обшивкой по низу не менее 100 мм.

Переходные площадки и лестницы должны иметь перила с обеих сторон. Площадки длиной более 5 м должны иметь не менее двух лестниц, расположенных в противоположных концах. Площадки и ступени лестниц могут быть выполнены:

- а) из просечно-вытяжного листа;
- б) из рифленой листовой стали или из листа с негладкой поверхностью, полученной наплавкой или другим способом;

Применение гладких площадок и ступеней лестниц, а также выполнение их из прутковой (круглой) стали запрещаются.

1.2. Позонный расчет

Позонный тепловой расчет топочной камеры производят для установления локальных тепловых нагрузок экранов по высоте топки. В основу расчета положено определение температуры газов на выходе из каждой зоны топки исходя из решения уравнений тепловыделения и теплоотвода в пределах зоны.

Для определения тепловых нагрузок по высоте топки разделяем ее на 4 зоны. Первой является зона расположения горелок, верхняя граница находится в 1.5м от горелки второго яруса. В пределах этой зоны сгорает основная масса топлива, поэтому она называется зоной максимального тепловыделения. Остальные три зоны делятся примерно на равные по высоте участки.

Целью расчета является определение температуры газов на выходе из каждой зоны. Расчет температур производят методом последовательных приближений путем сравнения предварительно принятой и расчетной величин. На рисунке 1.2. приведено деление топки котла на зоны.

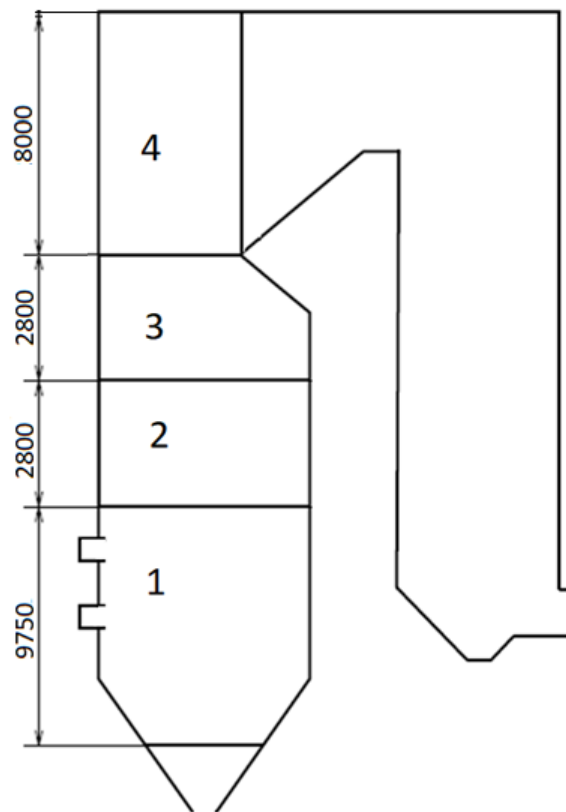


Рисунок 1.2. Деление топочной камеры на зоны

Температура на выходе из первой зоны определяется по формуле:

$$\theta_I'' = \frac{100}{100 - q_4} \beta_{\text{сг}} \cdot Q_i^r + Q_{\text{в-ха}} + i_{\text{тл}} - Q_{\text{бшл}} - \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot a_{\text{т}}(T'')^4}{B \cdot V_{\text{с}}''} \cdot \psi F, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.1)$$

где $\beta_{\text{сг}}$ – степень выгорания, характеризующая долю топлива, сгоревшего в рассматриваемой зоне;

Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг;

$Q_{\text{в-ха}}$ – количество тепла, вводимое в топку с воздухом, ккал/кг;

$Q_{\text{бшл}}$ – потери тепла с удаляемым из зоны шлаком, ккал/кг;

$V_{\text{с}}''$ – средняя суммарная теплоёмкость продуктов сгорания в первой зоне на 1 кг топлива, ккал/(кг·°C);

$i_{\text{тл}}$ – энтальпия 1 кг топлива;

B – расход топлива, кг/час;

$a_{\text{т}}$ – степень черноты топки для первой зоны равна 0,97 и определена по методике теплового расчёта [1, с.28];

ψF – произведение коэффициента эффективности на суммарную поверхность, ограничивающую зону: $\psi F = F_{\text{ст}} \cdot \psi_{\text{ср}} + \psi' \cdot F_{\text{сеч1}} + \psi'' \cdot F_{\text{сеч2}} = 252,5 \cdot 0,45 + 0,1 \cdot 58,5 + 0,45 \cdot 54 = 167,15$

$F_{\text{ст}}$ – поверхность стен зоны, м²;

$\psi_{\text{ср}}$ – средний коэффициент тепловой эффективности стен зоны;

$F_{\text{сеч1}}$ и $F_{\text{сеч2}}$ – сечения топочной камеры, ограничивающие зону сверху и снизу, м²;

Первая зона:

Температура газов на выходе из первой зоны по формуле (1.1) равна:

$$\theta_I'' = \frac{100}{100 - 0,5} \cdot 0,98 \cdot 4311 + 901 + 10,2 - 39,5 - \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,97 \cdot (1583)^4}{39240 \cdot 2,5} \cdot 167,15 = 1308 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тепловая нагрузка каждой зоны находится по формуле:

$$q_{ли} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \psi_i \cdot a_T \cdot T_{ср}^4, \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \quad (1.1)$$

Тепловая нагрузка первой зоны равна:

$$q_{л1} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,45 \cdot 0,97 \cdot 1581^4 = 0,134 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

Вторая зона:

Температура на выходе из остальных трех зон определяется по формуле:

$$\theta_{2-4}'' = \frac{\Delta\beta_{сг} \cdot Q_i^r}{V c''} + \frac{c'}{c''} \cdot \theta_{1-3}' - \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \cdot \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot a_T \cdot (T')^4 \cdot [\psi_{ср} \cdot F_{сг} - \bar{F}_c \cdot (\psi' - \psi'')]}{2B \cdot V c''}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.3)$$

где $\Delta\beta_{сг}$ – коэффициент, характеризующий долю топлива, сгоревшего в пределах рассматриваемой зоны;

$\frac{c'}{c''}$ - отношение теплоёмкостей газов на входе и на выходе из зоны;

θ_{1-4}' - температура на входе в указываемую зону, $^\circ\text{C}$;

\bar{F}_c – средняя площадь сечения топочной камеры в данной зоне, м^2 ;

$\psi' - \psi''$ - разность коэффициентов излучения теплоты из расположенной ниже зоны в следующую, равна нулю.

Степень черноты топки a_T определяется на основе линейной интерполяции между значениями первой и последней зон.

Таким образом, температура на выходе из второй зоны, по (1.3) равна:

$$\theta_2'' = \frac{0,012 \cdot 4311}{2,4} + \frac{2,315}{2,4} \cdot 1308 - \left[1 + \left(\frac{1573}{1581} \right)^4 \right] \cdot \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,97 \cdot (1581)^4 \cdot [0,41 \cdot 84]}{2 \cdot 39240 \cdot 2,4} = 1211 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тепловая нагрузка второй зоны по формуле (1.2) равна:

$$q_{л2} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,41 \cdot 0,97 \cdot 1484^4 = 0,104 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

Третья зона:

Температура на выходе из третьей зоны, по формуле (1.3) равна:

$$\theta_3'' = \frac{0,005 \cdot 4311}{2,3} + \frac{2,29}{2,3} \cdot 1211 - \left[1 + \left(\frac{1415}{1484} \right)^4 \right] \cdot \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,965 \cdot (1484)^4 \cdot [0,41 \cdot 84]}{2 \cdot 39240 \cdot 2,3} = 1132 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тепловая нагрузка третьей зоны по формуле (1.2) равна:

$$q_{л3} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,41 \cdot 0,965 \cdot 1405^4 = 0,083 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

Четвёртая зона:

Температура на выходе из четвертой зоны, по формуле (1.3) равна:

$$\theta_4'' = \frac{0,003 \cdot 4311}{2,3} + \frac{2,27}{2,3} \cdot 1132 - \left[1 + \left(\frac{1273}{1405} \right)^4 \right] \cdot \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,955 \cdot (1405)^4 \cdot [0,35 \cdot 240]}{2 \cdot 39240 \cdot 2,3} = 1013 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тепловая нагрузка четвертой зоны по формуле (1.2) равна:

$$q_{л4} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,35 \cdot 0,955 \cdot 1286^4 = 0,056 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

По рассчитанным данным построен график изменения температуры газов в топке в зависимости от относительной высоты топочной камеры (см. рис. 1.3.), а также график изменения тепловой нагрузки топки (см. рис. 1.4.).

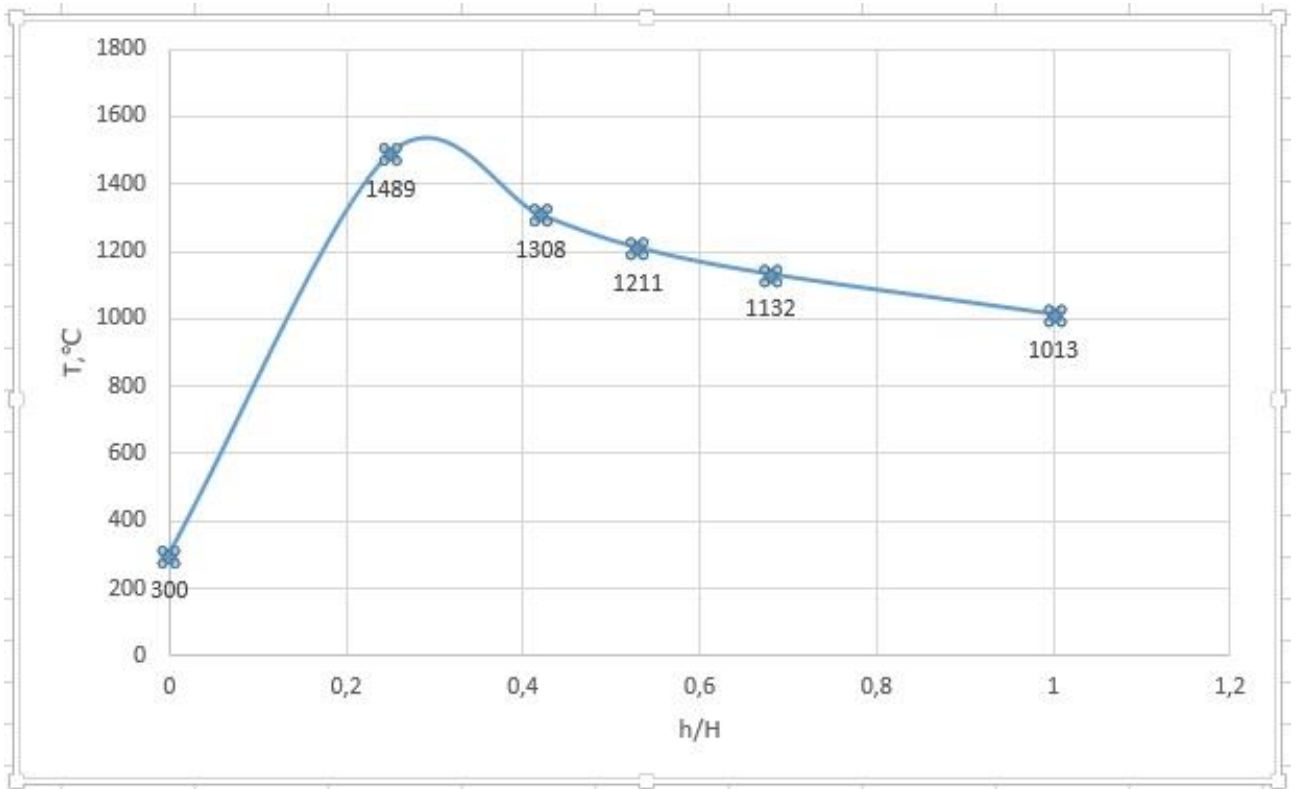


Рис. 1.3. Зависимость температуры газов от относительной высоты топки

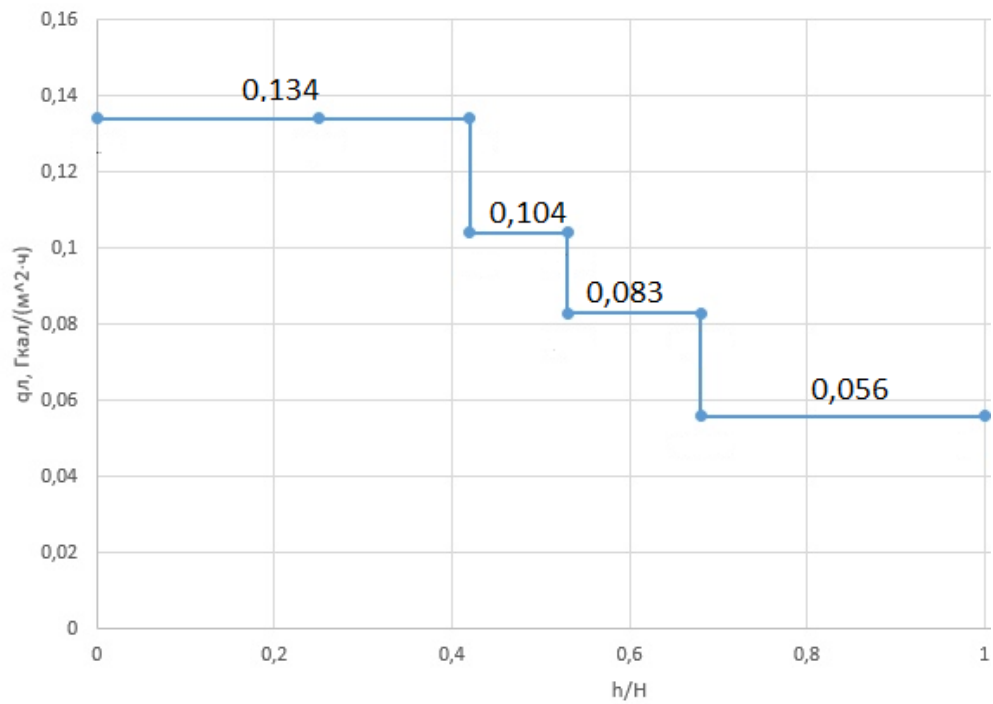


Рис. 1.4. Зависимость тепловой нагрузки от относительной высоты топки

1.3 Тепловой расчет изоляции топочной камеры

Для теплоизоляции, в настоящий момент, широко применяется минеральная вата, состоящая из тонких беспорядочно расположенных стекловидных волокон, которые получаются из расплавленного шлака (шлаковата), стекла или других горных пород. Минеральная вата — очень пористый материал, имеющий низкую теплопроводность ($\lambda = 0,04 \frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С}}$ при 30°С). Применяется до 600°С в виде различных изделий: матов, войлока, плит и др. Минеральная вата склонна к уплотнению. Для снижения его применяют гранулированную минеральную вату в виде комков цилиндрической или сферической формы. Основным преимуществом базальтовой ваты является ее теплопроводность. Она самая низкая среди остальных видов изоляции, что позволяет сохранить тепло почти полностью, при облицовке котла базальтовыми плитами тратиться намного меньше материала, чем при использовании других утеплителей. Она не разрушается под действием агрессивной среды и химических веществ, что позволяет материалу оставаться в первоначальном виде как визуально, так и функционально на протяжении долгих лет, вследствие чего имеет гарантийный срок, установленный производителем, на уровне 40 лет. Ни при каких обстоятельствах не горит и не взрывается, имеет абсолютную пожаробезопасность, а также является экологически чистым материалом. Исходя из всего вышесказанного, в качестве теплоизоляционного материала применяем маты из базальтовой ваты и штукатурку.

Топочная камера экранирована газоплотными панелями с трубами диаметром $d = 42$ мм. с шагом $S = 58$ мм.

Температура на плавнике $t_{\text{пл}} = 228^\circ\text{С}$.

Температура среды $t_c = 220^\circ\text{С}$.

Температура окружающего воздуха $t_b = 30^\circ\text{С}$.

Температура наружной стенки изоляции $t_n = 50^\circ\text{С}$.

Температура на внутренней стенке изоляции:

$$t_{\text{вн}} = \frac{t_{\text{пл}} \cdot (S - d) + t_c \cdot d}{S} = \frac{228 \cdot (58 - 42) + 220 \cdot 42}{58} = 222 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.4)$$

Коэффициент теплоотдачи от наружной стенки изоляции к воздуху:

$$\alpha_{\text{в}} = 8,4 + 0,06 \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) = 8,4 + 0,06 \cdot (50 - 30) = 9,5 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (1.5)$$

Конструкция изоляции: Маты из базальтовой ваты $S_1 = 120$ мм.

Штукатурное покрытие $S_2 = 20$ мм.

Средняя температура изоляции:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_c + t_{\text{н}}}{2} = \frac{222 + 50}{2} = 136 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.6)$$

Коэффициент теплопередачи базальтовых матов $\lambda_1 = 0,068 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$

Коэффициент теплопередачи штукатурного покрытия $\lambda_2 = 0,33 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$

Термическое сопротивление базальтовых матов:

$$R_1 = \frac{S_1}{\lambda_1} = \frac{0,12}{0,068} = 1,765 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}} \quad (1.7)$$

Термическое сопротивление штукатурного слоя:

$$R_2 = \frac{S_2}{\lambda_2} = \frac{0,02}{0,33} = 0,060 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}} \quad (1.8)$$

Термическое сопротивление воздуха:

$$R_{\text{в}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} = \frac{1}{9,6} = 0,104 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}} \quad (1.9)$$

Суммарное термическое сопротивление:

$$\sum R = R_1 + R_2 + R_B = 1,765 + 0,060 + 0,104 = 1,93 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}{\text{ккал}} \quad (1.10)$$

Средний тепловой поток:

$$q = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{в}}}{\sum R} = \frac{222 - 30}{1,93} = 99,5 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \quad (1.11)$$

Температура на наружной поверхности штукатурки:

$$t_{\text{н}} = t_{\text{вн}} + q * R_B = 30 + 99,5 * 0,104 = 40,5 \text{ °C} \quad (1.12)$$

Температура на границе изоляции и штукатурного слоя:

$$t_{\text{г}} = t_{\text{вн}} - q * R_1 = 222 - 99,5 * 1,765 = 46,3 \text{ °C} \quad (1.13)$$

ГЛАВА 2. СИСТЕМА ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ

2.1. Описание топливного хозяйства

Система необходима для измельчения топлива, ее транспортировки и подачи в топку котельного агрегата. Система пылеприготовления входит в топливное хозяйство станции, которое включает в себя: железнодорожные пути, разгрузочные устройства, топливоподачу, дробильный корпус, бункера в главном здании и склад.

Поезда, привозящие топливо по железнодорожным путям, подают свои вагоны в вагоноопрокидывающее устройство, которое может захватывать до нескольких вагонов одновременно. При разгрузке уголь высыпается в приемный бункер, для создания запаса топлива и его подачи на случай непредвиденных ситуаций. Затем уголь поступает на ленточные транспортёры и поступает в угледробильное помещение. Топливо обычно бывает засорено посторонними металлическими предметами, щепой, а также содержит колчедан. Наличие этих примесей может вывести из строя дробильно-мельничное оборудование, поэтому по пути подачи топливо проходит через электромагнитные сепараторы, механические щепоулавители и уловители колчедана, а затем распределяется по бункерам дробильной установки. В дробильном корпусе устанавливаются молотковые дробилки, измельчающие уголь до кусков размером 15—25 мм. Перед дробилками устанавливаются грохоты, с помощью которых уголь, не требующий измельчения, пропускается мимо дробилок. После дробилок уголь попадает в бункера сырого угля котлов, являющиеся первыми элементами схемы пылеприготовления.

2.2. Схема пылеприготовления

Выбор схемы пылеприготовления определяется составом топлива, его приведённой влажностью, взрывоопасностью, типом мельниц и паропроизводительность котла. Правильный выбор определяет схемы определяет надёж-

ность работы установки и её экономические показатели. Выбор схемы пылеприготовления ведется в соответствии с данными приведёнными в [6, с.16]. Принимаем индивидуальную схему с прямым вдуванием для шаровых барабанных мельниц, эта схема является наиболее простой и экономичной. Схема приведена на рис.2.1.

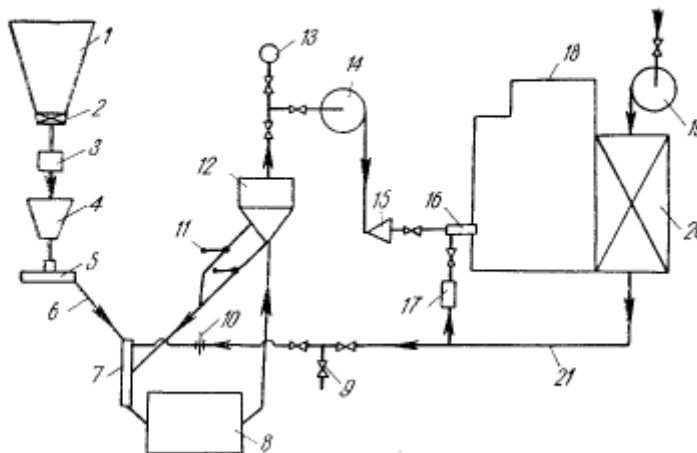


Рисунок 2.1. Индивидуальная схема пылеприготовления

1 – бункер сырого угля; 2 – отсекающий шибер;
 3 – автовесы; 4 – весовой бункер; 5 – питатель угля; 6 – течка сырого угля;
 7 - устройство для нисходящей сушки; 8 – мельница; 9 – клапан присадки холодного воздуха; 10 – расходомер сушильного агента; 11 – мигалка; 12 – сепаратор;
 13 – межсистемная связь; 14 – мельничный вентилятор; 15 – распределитель пыли;
 16 – горелка; 17 – короб вторичного воздуха; 18 – котел; 19 – дутьевой вентилятор; 20 – воздухоподогреватель.

2.3. Бункеры сырого угля

Схема пылеприготовления начинается с бункера сырого угля. В индивидуальных системах пылеприготовления на каждую мельничную установку предусмотрен один бункер. Внутренние стенки бункеров должны быть зажелены для создания гладкой внутренней поверхности. Бункера выполняются в виде 4-гранной призмы, переходящей внизу в усеченную пирамиду (воронку), имеющую в конце отверстие выпуска квадратного сечения с длинной стороны равной 1 метр. Угол наклона стенок должен составлять не менее 60° к горизонту, для угольных бункеров. Объемы бункеров рассчитываются согласно мето-

дике [6, с.95] и должны обеспечивать 8 часовую бесперебойную работу котельного агрегата на каменном угле. Расчет бункеров представлен ниже:

Необходимый объем бункера:

$$V_{\text{бунк}} = \frac{t \cdot B}{K_{\text{зап}} \cdot \gamma_{\text{нас}} \cdot z_6} = \frac{8 \cdot 39.21}{0,8 \cdot 0,98 \cdot 3} = 133.47 \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

где z - число часов работы котла на запасенном топливе, $z = 8$ часов для каменных углей;

$K_{\text{зап}}$ - коэффициент заполнения бункера, равный 0,8;

$\gamma_{\text{нас}}$ - насыпной удельный вес межреченского угля, равный 0,98 т/м³;

z_6 - число бункеров, равное 3.

Объем пирамидальной части бункера:

$$\begin{aligned} V_{\text{пир}} &= \frac{1}{3} \cdot h_{\text{пир}} \cdot (S_1 + S_2 + (S_1 + S_2)^{0,5}) \\ &= \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot \text{tg } 65^\circ \cdot (25 + 1 + (25 + 1)^{0,5}) = 43,82 \text{ м}^3 \end{aligned} \quad (2.2)$$

где $h_{\text{пир}}$ - высота пирамидальной части, равная $2 \cdot \text{tg } 65^\circ$;

S_1 - большее основание пирамиды, равное 25 м²;

S_2 - меньшее основание пирамиды, равное 1 м².

Объем призматической нижней части бункера, соединенной с питателем:

$$V_{\text{пр.н.}} = S_2 \cdot h_{\text{пр.н.}} = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

где $h_{\text{пр.н.}}$ - высота нижней призматической части, равная 0,5 м.

Объем призматической верхней части бункера:

$$V_{\text{пр.в.}} = V_{\text{бунк}} - V_{\text{пр.н.}} - V_{\text{пир}} = 133,47 - 0,5 - 44,32 = 89,15 \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

Высота призматической верхней части:

$$h_{\text{пр.в.}} = \frac{V_{\text{пр.в.}}}{S_1} = \frac{89,15}{25} = 3,55 \text{ м} \quad (2.5)$$

Принятый запас по высоте бункера 1,5 м тогда полная высота бункера:

$$h_{\text{бунк}} = h_{\text{пр.в.}} + h_{\text{пр.н.}} + h_{\text{пир}} + 1,5 = 4,3 + 3,55 + 1,5 = 9,35 \text{ м} \quad (2.6)$$

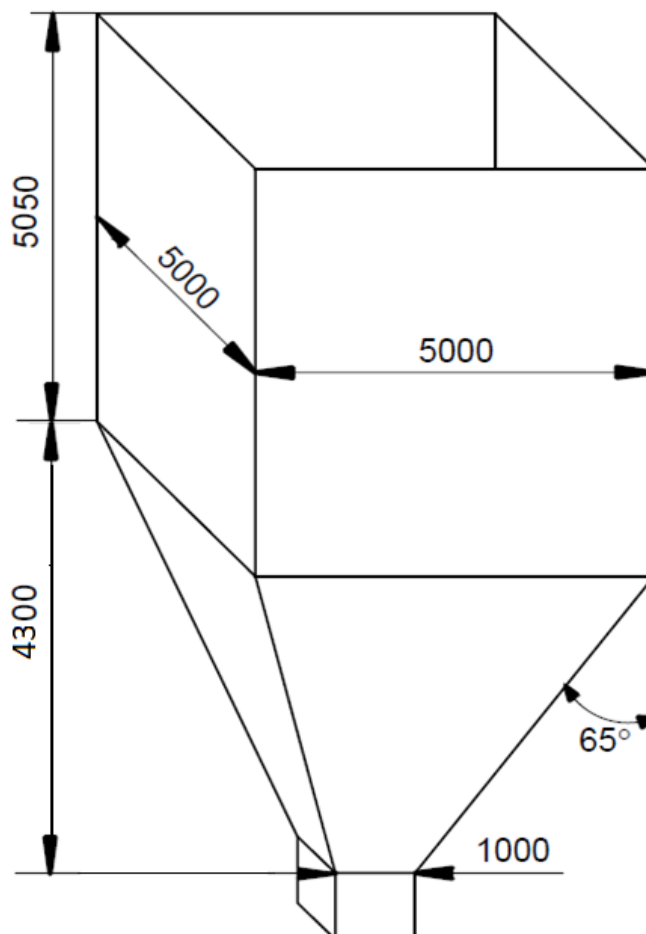


Рисунок 2.2. Бункер сырого угля

2.4. Питатели и точки

В соответствии со схемой пылеприготовления, под бункером находится отсекающий шибер, выполненный по типу штыкового затвора. Из бункера топливо падает на питатель. Выбираем ленточный питатель ввиду его надёжности и экономичности. Во избежание запыления питатель должен быть закрытого типа. Выбор питателя производится по рассчитанной производительности, ко-

торая равна 21,2 тонн в час. Каталог для питателей приведен в [3, с.105]. Расчет питателя приведён в приложении 2. Выбираем питатель СПУ 700/1680.

С питателя топливо падает в течку, наклон которой должен быть не менее 75° к горизонту. Диаметр течки принимается равным 0,5 метра.

2.5. Мельница и сепаратор

Основным устройством любой пылесистемы является размольная мельница. После течки топливо попадает в мельницы, в которых происходит сушка и измельчение угля до состояния пыли с размерами частиц не более 600 мкм. В качестве сушильного агента принимаем горячий воздух из воздухоподогревателя. Целью теплового расчёта мельниц является определение доли первичного воздуха от теоретически необходимого, который будет служить сушильным агентом и, собственно, выбор самой мельницы. Из расчёта получено, что доля первичного воздуха равна 0,54. Тепловой расчёт схемы пылеприготовления приведён в приложении 2.

Выбор типа мельницы производится в зависимости от вида топлива, его коэффициента размолоспособности, выхода летучих и паропроизводительности котла согласно методике [3, с.14].

Выбираем шаровые барабанные мельницы (ШБМ) с снисходящим подводом сушильного агента. ШБМ может обеспечить самый тонкий помол топлива, что положительно сказывается на процессе горения топлива в топке котельного агрегата. Для котельных агрегатов паропроизводительностью 270 тонн пара в час рекомендовано число шаровых барабанных мельниц равное трём.

Пылепровод осуществляет связь между сепаратором мельницы и горелками. Принимаем количество пылепроводов от каждой мельницы равное двум, а их диаметр равным 0,5 м. Расчет приведен в приложении 1.

2.6. Пылеугольные горелки

Целью расчёта горелок является определения диаметров сечений для прохода пылевоздушной смеси и вторичного воздуха, исходя из принятых скоростей движения сред. Используем прямоточные пылеугольные горелки, они относительно просты по конструкции, экономичны и надёжны в работе. Для улучшения воспламенения используется канал вторичного воздуха.

Согласно производительности котла принимаем число горелок равное шести, расположение фронтное, в два яруса.

В качестве резервного топлива используется мазут. Для его сжигания необходима предварительная подготовка: подогрев и распыление, при котором обеспечивается сгорание мазута. Применяем паровые форсунки, использующиеся, в основном, для розжига пылевидного топлива.

Скорость движения пылевоздушной смеси на выходе из горелок принимается равной 18 м/с, а скорость вторичного воздуха 23 м/с.

Количество первичного воздуха:

$$V_1 = \frac{r_{\text{пер}} \cdot V_0 \cdot B}{3,6} = \frac{1,2 \cdot 4,93 \cdot 39,24}{3,6} = 64 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (2.7)$$

где $r_{\text{пер}}$ – доля первичного воздуха;

V_0 – теоретически необходимое количество воздуха.

Выходное сечение канала пылевоздушной смеси:

$$F_1 = \frac{V_{\text{гор}} \cdot \rho_0}{w_1 \cdot \rho_{\text{возд}}} = \frac{3,9 \cdot (0,101)}{0,111 \cdot 18} = 0,197 \text{ м}^2 \quad (2.8)$$

Диаметр сечения для пылевоздушной смеси:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,197}{3,14}} = 0,5 \text{ м.} \quad (2.9)$$

Количество вторичного воздуха:

$$V_2 = \frac{(1 - r_{\text{пер}}) \cdot V_0 \cdot B}{3,6} = \frac{(1 - 0,54) \cdot 4,327 \cdot 72,52}{3,6} = 40,1 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (2.10)$$

Выходное сечение канала пылевоздушной смеси:

$$F_2 = \frac{V_{\text{вт}} \cdot \rho_0}{w_2 \cdot \rho_{\text{возд}}} = \frac{15 \cdot (0,101)}{23 \cdot 0,111} = 0,62 \text{ м}^2 \quad (2.11)$$

где t_2 – температура вторичного воздуха на входе в горелки, °С.

Диаметр сечения для вторичного воздуха:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,62}{3,14}} = 1 \text{ м} \quad (2.12)$$

Эскиз сечения горелки и их подключения представлен на рис.2.3

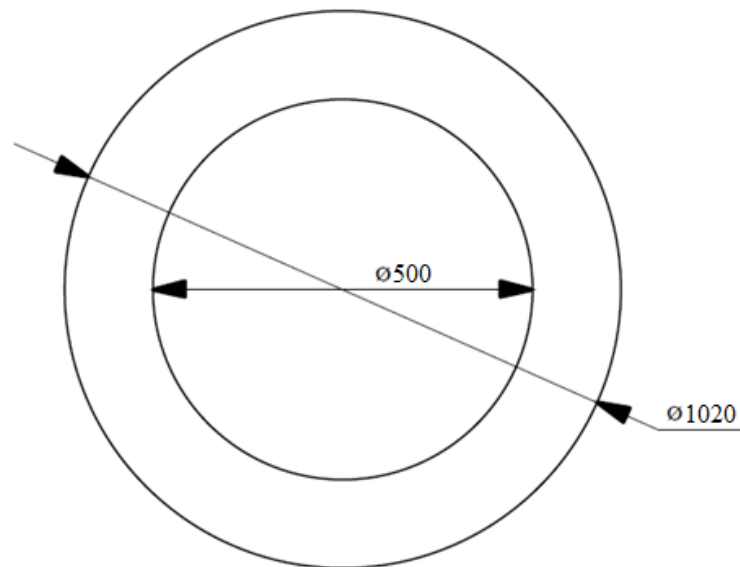


Рисунок 2.3. Эскиз сечения горелки

2.7. Система шлакоудаления

Система шлакоудаления предназначена для удаления продуктов сгорания твердого топлива, тем самым влияя на эффективность работы котельной установки, следовательно, и всей станции. Для большинства каменных и бурых углей применяется система твердого шлакоудаления. В нижней части котла образовывается холодная воронка, за счет сближения фронтальной и задней части с наклоном в 50° - 60° . Температура в топке понижается, выпадающие шлаковые частицы отвердевают и выпадают по холодным поверхностям в шлаковый бункер, откуда через затвор периодически удаляются в общий канал шлакозолоудаления. Недостатком твердого шлакоудаления является низкий процент выпадения шлака в топочной камере и его унос с дымовыми газами, что приводит к изнашиванию конвективных поверхностей теплообмена и необходимости устанавливать мощные золоулавливающие устройства.

Зола и шлак от котельного агрегата и электрофилтра попадают в каналы шлакозолоудаления, проложенные с уклоном по длине и имеющие побудительные сопла, которые обеспечивают движение по каналу. Минимальный срок их эксплуатации 25 лет [3, с.116]. Из-за невозможности постоянного расширения золоотвалов, необходимо увеличивать использование золы и шлака в хозяйстве и производстве в качестве удобрения и строительного материала.

Непрерывное шлакоудаление обеспечивается устройством (см. рис.2.4), которое состоит из передвижной ёмкости, заполненной водой, с находящимся внутри шнеком. Холодная воронка котельного агрегата в нижней части оборудована специальной юбкой, погруженной в воду, с целью устранения присосов воздуха. С помощью шнека, расположенного под углом к горизонту и оборудованного электродвигателем с редуктором, шлак из котельного агрегата измельчается и поступает в отводящую течку, которая направляет шлак в канал гидрозолоудаления, описанный ранее. Шнек стоит на колёсах и имеет возможность выкатываться. Расчёт устройства шлакоудаления представлен ниже.

Производительность шнека определяется по формуле:

$$G_{\text{шн.}} = 47 * (D^2 - d^2) * s * n * \rho_{\text{шл.}} * k_1 * \varphi \quad (2.13)$$

где $G_{\text{шн.}}$ – производительность шнека, т/ч;

D – диаметр витка шнека, м.; $D=0,6$ м.;

d – диаметр вала шнека, м.; $d=0,22$ м.;

s – шаг между витками, м.; $s=0,8$ м.;

n – число оборотов, об/ч; $n=3$ об/мин.;

$\rho_{\text{шл.}}$ – плотность шлака, т/м³; $\rho_{\text{шл.}}=1,4$ т/м³;

k_1 – коэффициент для учета угла подъема; $k_1=0,65$;

φ – коэффициент заполнения шнека кусками шлака; $\varphi=0,13$;

$$G_{\text{шн.}} = 47 * (0,6^2 - 0,22^2) * 0,8 * 3 * 1,4 * 0,13 * 0,65 = 4,17 \frac{\text{т}}{\text{ч}} \quad (2.14)$$

Количество шлака:

$$\begin{aligned} G_{\text{шл}} &= B_p \left[\frac{A^r (1 - \alpha_{\text{уН}})}{100} + \frac{q_4}{100} \right] = 39,24 * \left[\frac{30,9 * (1 - 0,95)}{100} + \frac{1}{100} \right] \\ &= 1 \frac{\text{т}}{\text{ч}} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Количество шнеков:

$$n_{\text{шн}} = \frac{G_{\text{шл}} * K_{\text{зап}}}{G_{\text{шн}}} = \frac{1 * 8}{4,17} = 1,9 \approx 2 \quad (2.16)$$

2.6.2. Расчет воды на шнек и высоты гидрозатвора

Количество воды, требуемое на охлаждение 1 кг шлака:

$$m = \frac{q_{\text{шл}} + q_{\text{изл}}}{c_{\text{в}} (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})} \quad (2.17)$$

где $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, $c_{\text{в}}=1$ ккал/(кг·°С);

$t_{\text{вых}}$ – температура воды на выходе, $t_{\text{вых}} = 70^{\circ}\text{С}$;

$t_{\text{вх}}$ – температура воды на входе, $t_{\text{вх}} = 20^{\circ}\text{С}$;

$q_{\text{шл}}$ – теплота шлака, ккал/кг;

$$q_{\text{шл}} = c_{\text{шл}} \cdot (t_{\text{вып}} - t_{\text{охл}}) + 60 \quad (2.18)$$

$t_{\text{вып}}$ - температура выпадающего шлака, $t_{\text{вып}} = 600^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{охл}}$ - температура охлажденного шлака, $t_{\text{охл}} = 70^{\circ}\text{C}$;

$c_{\text{шл}}$ - теплоемкость шлака, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$$c_{\text{шл}} = 0,1 + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (T_{\text{шл.ср}}) \quad (2.19)$$

$T_{\text{шл.ср}}$ - средняя температура шлака, К;

$$T_{\text{шл.ср}} = \frac{(t_{\text{вып}} + 70)}{2} + 273 \quad (2.20)$$

$$T_{\text{шл.ср}} = (600 + 70) \cdot 0,5 + 273 = 608 \text{ К};$$

$$c_{\text{шл}} = 0,1 + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 608 = 0,173 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C});$$

$$q_{\text{шл}} = c_{\text{шл}} \cdot (t_{\text{вып}} - t_{\text{охл}}) + 60 = 0,173 \cdot (600 - 70) + 60 = 151,7 \text{ ккал}/\text{кг};$$

$q_{\text{изл}}$ - теплота излучения, $\text{ккал}/\text{кг}$

$$q_{\text{изл}} = q_{\text{изл}}^{\text{T}} \cdot F_{\text{изл}} \cdot \frac{a_{\text{шл}}}{B_{\text{p}}} \quad (2.21)$$

$a_{\text{шл}}$ - доля шлакоулавливания в топочной камере, $a_{\text{шл}} = 0,05$;

$$q_{\text{изл}} = 317 \cdot 8 \cdot \frac{0,05}{10,9} = 13,46 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \quad (2.22)$$

Тогда $m = \frac{151,7 + 13,46}{70 - 20} = 3,3 \text{ кг}$, ровно столько воды требуется для охлажде-

ния 1 кг шлака.

Высота гидрозатвора находится исходя из формулы:

$$h_{\text{г.з.}} = 2 \cdot H_{\text{котла}} \cdot g \cdot \left(0,123 - 0,123 \cdot \frac{273}{273 + \frac{g_a + g_m}{2}} \right) \quad (2.23)$$

$$h_{\text{г.з.}} = 2 \cdot 21 \cdot 9,81 \cdot \left(0,123 - \frac{273}{273 + 1615} \right) = 58 \text{ мм}. \quad (2.24)$$

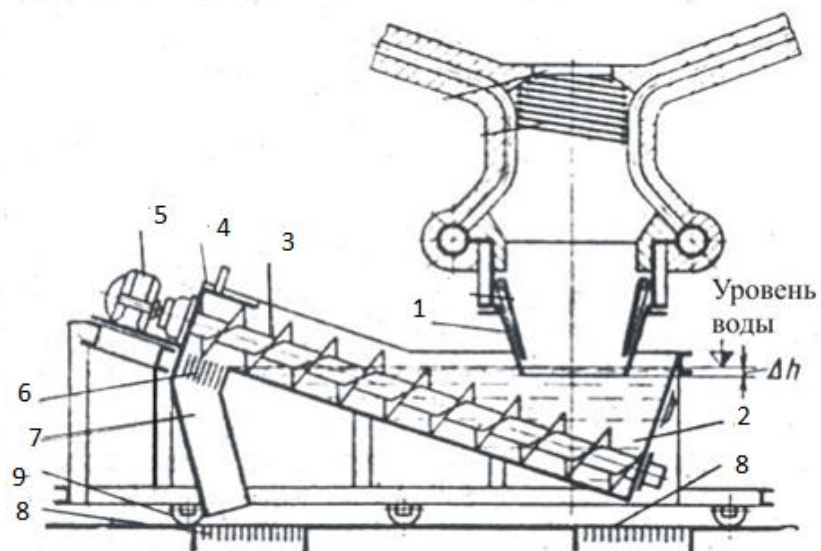


Рисунок 2.4. Шнековое шлакоудаление

1 – шибер; 2 – ванна с водой; 3 – шнек; 4 – дробильная камера; 5 – электродвигатель с редуктором; 6 – решетка; 7 – отводящая течка; 8 – течка канала гидрозолоудаления; 9 – колеса для выкатки ванны.

ГЛАВА 3. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

3.1. Основные положения аэродинамического расчета

Газовоздушный тракт начинается от воздухозаборных окон и заканчивается выходным сечением дымовой трубы. Необходимый для горения воздух с помощью дутьевого вентилятора забирается из атмосферы или из котельного цеха. Далее воздух проходит воздухоподогреватель и короб, из которого часть подается на сушку по коробу первичного воздуха в мельницу, а остальная часть — в качестве вторичного воздуха по коробу в горелки. Образующиеся при сгорании топлива в топке продукты сгорания, охлаждаясь, проходят через перегреватели, экономайзеры, воздухоподогреватели и покидают котел. Значительную часть содержащейся в продуктах сгорания золы улавливают в расположенных за котлом золоуловителях. Очищенные от золы дымовые газы направляются в дымовую трубу и выбрасываются в атмосферу.

Целью аэродинамического расчёта котельной установки является выбор необходимых тягодутьевых машин на основе определения производительности тяговой, дутьевой систем и перепада полных давлений в газовом и воздушном трактах.

Все сопротивления разделяют на две группы: сопротивления трения при течении потока в прямом канале и местные сопротивления, связанные с изменением формы или направления канала.

Газовоздушный тракт включает в себя воздухопроводы, калориферы для подогрева воздуха перед воздухоподогревателем, запорные и регулирующие органы, короба, тягодутьевые машины, элементы парогенератора, золоуловители, газопроводы и дымовые трубы, все оборудование и соединительные элементы по которым движется воздух и образующиеся продукты сгорания топлива. [4, с.5]

3.2. Воздушный тракт котельного агрегата

Целью аэродинамического расчёта воздушного тракта котельного агрегата является выбор дутьевых машин, на основе рассчитанных величин: производительности или расхода воздуха и перепада полных давлений на участках тракта. Воздушный тракт включает в себя участки: от воздухозаборного окна до вентилятора, находящийся под разрежением, и находящийся под давлением участок от вентилятора до входа в топку котла. Воздушный тракт котельного агрегата представлен на рис.3.1. Воздухопроводы обычно изготавливаются железными и соединены с помощью сварки. Для изменения производительности вентиляторов в процессе эксплуатации применяют регулирование увеличением сопротивления тракта при помощи шиберов.

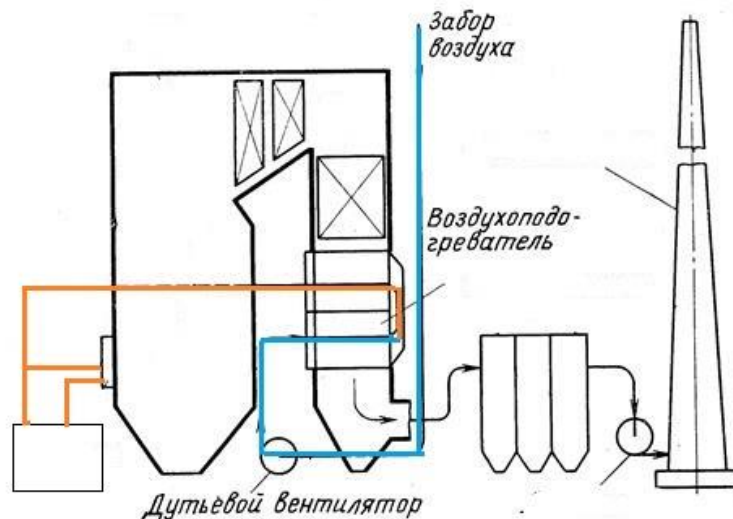


Рисунок 3.1. Схема воздушного тракта

3.3. Газовый тракт котельного агрегата

Целью аэродинамического расчёта газового тракта котельного агрегата является выбор тяговых машин, на основе рассчитанных величин: производительности или расхода воздуха и перепада полных давлений на участках тракта.

Газовый тракт включает в себя участок, расположенный внутри котельного агрегата, золоуловитель, дымосос и дымовую трубу. Газовый тракт котельного агрегата представлен на рис.3.2. Сопротивления всех участков суммируются, отдельно суммируется самотяга и по величине алгебраической разности определяется перепад полных давлений в газовом тракте.

Расчет сопротивлений всех участков газового и воздушного трактов приведены в приложении 2.

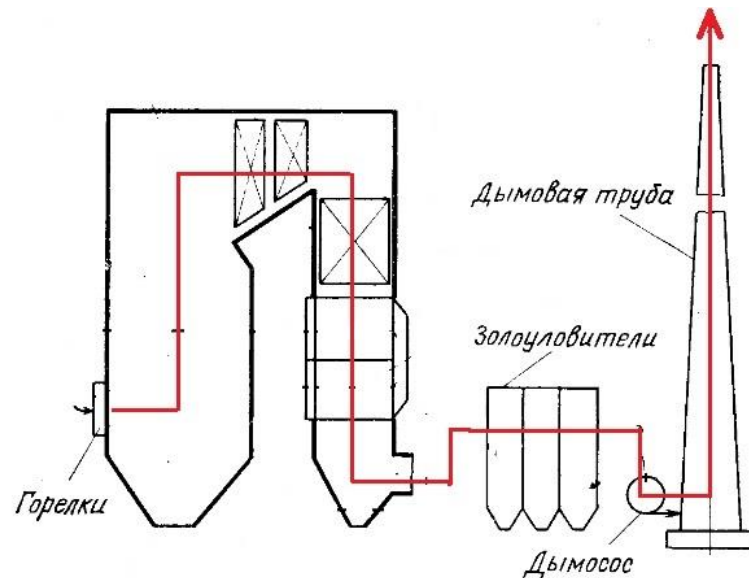


Рисунок 3.2. Схема газового тракта

3.4. Золоулавливание и выбор электрофильтра

В связи с широким использованием твердых топлив и повышением требований к охране окружающей среды всё большее значение приобретают вопросы золоулавливания. Очистка дымовых газов способствует не только снижению выбросов золы в атмосферу, но и повышению надежности эксплуатации рабочих колес дымососов, особенно осевых.

Для выделения твердых частиц из дымовых газов наибольшее применение получили золоуловители, действующие на принципе использования центробежных сил — механические и с использованием электростатических сил — электрофильтры.

В качестве инерционных (механических) золоуловителей наибольшее применение получили циклоны, в которых осаждение происходит за счет центробежных сил при вращательном движении потока. Очищаемый газ поступает тангенциально через входной патрубок и движется в канале, образованном наружной и внутренней цилиндрическими стенками циклона, где под действием центробежных сил происходит отделение золы. Зольные частички осаждаются на наружной поверхности кольцевого канала, а затем под действием силы тяжести ссыпаются в коническую воронку [5, с.168].

Также применяются мокрые золоуловители – центробежные скрубберы, в которых происходит коагуляция золовых частиц с каплями воды, с целью их лучшего отделения.

Наиболее предпочтительным является выбор электрофильтра, в виду его наибольшего КПД из всех представленных.

Объем уходящих газов равен:

$$V_{\Gamma} = V_0^{\Gamma} * B_{\kappa} * \frac{t_{yx} + 273}{273} \quad (3.1)$$

$$V_{\Gamma} = 5.34 * 10.9 * \frac{145 + 273}{273} = 89,12 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площадь входного сечения электрофильтра:

$$F_{\text{эф}} = \frac{V_{\Gamma}}{\omega n} \quad (3.2)$$

$$F_{\text{эф}} = \frac{89.12}{2 * 1.25} = 35,65 \text{ м}^2$$

Исходя из этого выбираем 2 электрофильтра УГ2-3-37-01 [стр 75, 9].

ГЛАВА 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧИСТОТЫ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.

Содержание вредных примесей в продуктах сгорания и загрязнение вредными примесями атмосферы, земли и воды ухудшает санитарно-гигиеническое состояние городов, поселков, полей, лесов, водоемов, оказывая вредное действие на организм человека и растительность, ухудшает качество продукции предприятий, увеличивает износ механизмов и разрушает строительные конструкции зданий и сооружений. Во время работы котельной установки в атмосферу выбрасывается огромное количество вредных веществ, таких как оксид азота NO , диоксид азота NO_2 , оксид серы SO_2 , твердые частицы (зола и сажа). Задачей расчета является определение концентрации вредных веществ, выделяющихся при работе котельной установки на максимальной нагрузке, определение необходимости проведения мероприятий по очистке выбросов и методов их возможной реализации

4.1. Расчет выбросов твердых частиц

Во время сжигания твердого топлива в атмосферу вместе с дымовыми газами будут выбрасываться твердые частицы (зола и несгоревшее топливо). Суммарное количество твердых частиц, выбрасываемых в атмосферу определяется по формуле, г/с:

$$M_{ТВ} = 10 * B * \left(A^p * a_{уН} * \frac{Q_H^p * q_4}{32,7} \right) (1 - n_3) \quad (4.1)$$

где B - расход топлива, кг/с;

$a_{уН}$ - доля золы, уносимой дымовыми газами (в долях);

A^p - зольность топлива, %;

Q_H^p - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

q_4 - потери от механического недожога топлива;

n_3 - доля твердых частиц, улавливаемых в электрофильтре.

$$M_{\text{ТВ}} = 10 * \frac{39,24}{3,6} * \left(30,9 * 0,95 * \frac{18,03}{32,7} \right) (1 - 0,99) = 31,5 \text{ г/с}$$

Пересчитаем с г/с на мг/м³, чтобы провести сравнение с нормативами удельных выбросов в атмосферу для КУ, приведенных в ГОСТ Р 50831-95:

$$C_{\text{ТВ}} = \frac{M_{\text{ТВ}}}{V_{\text{Г}} * B} = \frac{31,5}{6,73 * \frac{39,24}{3,6}} = 430 \text{ мг/м}^3$$

4.2. Расчет выбросов оксидов серы

Суммарное количество оксидов серы, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{SO}_2} = 20 * B * S^p * (1 - n_{\text{SO}_2}^{\cdot}) * (1 - n_{\text{SO}_2}^{\ddot{}}) \quad (4.2)$$

где S^p – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

$n_{\text{SO}_2}^{\cdot}$ = 0,1 доля серы, связываемой летучей золой топлива в котле;

$n_{\text{SO}_2}^{\ddot{}}$ = 0 доля серы улавливаемой в сухом золоуловителе.

$$M_{\text{SO}_2} = 20 * \frac{39,24}{3,6} * 2,67 * (1 - 0,1) * (1 - 0) = 520 \frac{\text{г}}{\text{с}}$$

$$C_{\text{SO}_2} = \frac{M_{\text{SO}_2}}{V_{\text{Г}} * B} = \frac{520}{6,73 * \frac{39,24}{3,6}} = 7 \text{ г/м}^3$$

4.3. Расчет выбросов оксидов азота

$$M_{\text{NO}_2} = 0.034 * \beta_1 * K * B * Q_{\text{Н}}^p * \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) * (1 - \beta_2 * r) * \beta_3 \quad (4.3)$$

где β_1 – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий качество топлива на выход NO_2 ;

K – характеризует выход окислов азота на т.у.т.;

$\beta_2 = 0$ учитывает рециркуляцию;

$\beta_3 = 0,85$ (для прямоточных горелок) коэффициент учитывающий конструкцию горелок;

$$\beta_1 = 0.178 + 0.47N^p = 0,178 + 0,47 * 0,67 = 0,5$$

$$K = \frac{12D}{200 + D} = \frac{12 * 270}{200 + 270} = 12$$

$$M_{NO_2} = 0,034 * 0,5 * 12 * 10,9 * 18,03 * \left(1 - \frac{1}{100}\right) * (1 - 0) * 0,85 = 33,4 \text{ г/с}$$

$$C_{NO_2} = \frac{M_{NO_2}}{V_r * B} = \frac{33,4}{6,73 * \frac{39,24}{3,6}} = 455 \text{ мг/м}^3$$

В соответствии с ГОСТ Р 50831-95, нормативы удельных выбросов в атмосферу твердых частиц, оксидов серы, оксидов азота для котельных установок паропроизводительностью до 420т/ч составляют: $C_{ТВ} = 500 \text{ мг/нм}^3$, $C_{SO_2} = 1200 \text{ мг/нм}^3$, $C_{NO_2} = 640 \text{ мг/нм}^3$. Выбросы оксида серы не удовлетворяют нормативам, в связи с этим предложены два варианта сероочистных мероприятий со степенью очистки дымовых газов на уровне 95-99%. Для межреченского угля, в соответствии с [13], требуемая степень сероочистки составляет порядка 92%.

Общий принцип выбора технологии в зависимости от концентрации серы в топливе основан на том, что при небольшой степени сероочистки (30-35%) применяются дешевые технологии, при этом возможно использование дорогого активного реагента. При большой степени сероочистки (более 80%) необходимы дорогие технологии с применением дешевых реагентов.

В настоящее время наибольшее распространение получила известковая технология, основанная на промывке этих газов суспензией известняка или извести. Ее неоспоримым плюсом является то, что она использует вещества не загрязняющие окружающую среду, а отход сероочистки является высококачественный гипс, который также нейтрален. На данный момент, эта технология является самой отработанной на территории России, технология обеспечивает сероочистку на уровне 95%, а получаемый гипс имеет высокие потребительские качества и востребованность на строительном рынке, однако количество получаемого гипса в процессе очистки велико, так что его полная реализация весьма проблематична.

Альтернативой известковой технологии стала аммиачно-сульфатная сероочистка (эффективность на уровне 99.5%) с получением товарного сульфата

аммония, являющимся эффективным и востребованным сельскохозяйственным удобрением, производство которого, по оценкам экспертов, в ближайшие 25 лет не покроет потребности мирового рынка. Также достоинством этой технологии является сокращение выбросов оксида азота на 30%. Поскольку сульфат аммония является ценным продуктом на рынке, за счет этого его продажа позволит гораздо быстрее окупать капитальные производственные вложения в сероочистку, особенно при высоких начальных концентрациях диоксида серы.

Таким образом, эти две технологии позволят эффективно и при минимальных вложениях решить проблему очистки дымовых газов от SO_2 и исключить вредное влияние станции на окружающую среду.

4.4. Выбор размеров дымовой трубы

Основной задачей дымовой трубы является вывод в атмосферу дымовых газов и рассеивание их в воздушном пространстве. Высота дымовой трубы должна обеспечивать необходимое рассеивание вредных частиц, содержащихся в дымовых газах, для получения регламентированных ПДК. Принимаем 2 железобетонные трубы, исходя из условий надежности, на случай выхода одной из них из строя. Расчет выполнен согласно методике [4].

Высота дымовой трубы рассчитывается по формуле:

$$H_p = \sqrt{\frac{m \cdot A \cdot n_k \cdot (M_{SO_2} + M_{NO_2} \cdot \theta) \cdot F}{\text{ПДК}_{SO_2} - C_{\phi SO_2} - C_{\phi NO_2} \cdot \theta}} \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{n_k \cdot V \cdot \delta t}}, \text{ м}, \quad (4.4)$$

где m – коэффициент, учитывающий условия выхода из устья трубы, принимается равным 0,9;

A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации, принимается равным $200 \text{ сек}^{2/3}/\text{град}^{1/3}$;

n_k – число котлов, подключенных к дымовым трубам, равно 4 шт.;

M_{SO_2}, M_{NO_2} - количество выбросов вредных веществ, рассчитанные ранее;

θ – вспомогательная величина, рассчитываемая по формуле:

$$\theta = \frac{\text{ПДК}_{SO_2}}{\text{ПДК}_{NO_2}} = \frac{0,5}{0,085} = 5,88 \quad (4.5)$$

F – коэффициент, учитывающий скорость осаждения примеси в атмосфере, принимается равным 1;

$\text{ПДК}_{SO_2}, \text{ПДК}_{NO_2}$ – предельно допустимые концентрации оксидов серы и азота в атмосфере, равны 0,5 и 0,085 мг/м³;

$C_{\phi SO_2}$ – фоновая концентрация оксида серы в атмосфере, мг/м³, равна 0,05;

$C_{\phi NO_2}$ – фоновая концентрация оксида азота в атмосфере, мг/м³, равна 0,076;

z – количество проектируемых дымовых труб, равное 2 шт.;

V – объём уходящих газов котельного агрегата, м³/с., рассчитываемый по формуле:

$$V = \frac{B \cdot V_0^r \cdot (t_{yx} + 273)}{273} = \frac{10,9 \cdot 5,34 \cdot (145 + 273)}{273} = 89,12 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (4.6)$$

δt – разность температуры выбрасываемых газов и воздуха, равная 115 °С.

Тогда высота дымовой трубы по (4.4) равна:

$$H_p = \sqrt{\frac{0,9 \cdot 200 \cdot 3 \cdot (72,5 + 27,5 \cdot 5,88) \cdot 1}{0,5 - 0,05 - 0,008 \cdot 5,88}} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{3 \cdot 195 \cdot 119}} = 97,8 \text{ м}$$

Принимаем высоту дымовой трубы = 120 м.

Расчетный диаметр устья дымовой трубы рассчитывается по формуле:

$$d_{\text{уст}} = \sqrt{\frac{V \cdot n_k}{0,785 \cdot w_{\text{ЭК}}}} = \sqrt{\frac{89,1 \cdot 4}{0,785 \cdot 30}} = 3,3 \text{ м.} \quad (4.7)$$

где $w_{\text{ЭК}}$ – экономически целесообразная скорость.

Принимаем диаметр устья = 4,2 м.

Действительная скорость газов на выходе из трубы будет равна:

$$w_{\Gamma} = \frac{V \cdot n_{\kappa}}{0,785 \cdot d_{\gamma}^2} = \frac{4 \cdot 89,1}{0,785 \cdot 4,2^2} = 25,7 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (4.8)$$

Коэффициент потерь на трение в газоотводящем стволе $\lambda = 0,05$;

Уклон дымовой трубы $i = 0,01$;

Тогда сопротивление дымовой трубы согласно формуле:

$$\Delta h_{\text{тр}} = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot w_0^2}{8 \cdot i \cdot 2} \quad (4.9)$$

$$\text{Составит: } \Delta h_{\text{тр}} = \frac{0,05 \cdot 0,1 \cdot 25,7^2}{8 \cdot 0,01 \cdot 2} = 20,6 \text{ мм. вод. ст.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной квалификационной работе были рассмотрены вопросы, связанные с проектированием системы пылеприготовления, шлакозолоуловливания для котла Е-270-14,0, а также: для котельного агрегата выполнен позонный расчёт, рассчитана толщина теплоизоляции, вспомогательного оборудования. Для обеспечения наиболее эффективной работы котельной установки было выбрано следующее оборудование:

Мельницы: ШБМ Ш25А - 3 шт.;

Питатели: СПУ 700/1680 – 3шт.;

Вентиляторы: ВДН-28-Пу - 2 шт.;

Дымососы: Д-21,5х2 - 2 шт.;

Электрофильтры :УГ2-3-37-01 - 2 шт.

Также спроектированы воздушный и газовый тракт котельного агрегата. Рассмотрены вопросы чистоты воздушного бассейна, а также предложены необходимые мероприятия для того, чтобы воздействие на окружающую среду было минимальным. Выполнена компоновка оборудования с учётом минимальных габаритов и обеспечения беспрепятственного доступа к оборудованию для его обслуживания и ремонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов Н.В., Митор В.В., Дубовский И.Е., Красина Э.С. Тепловой расчёт котельных агрегатов: нормативный метод: М., «Энергия», 1973. – 296 с.
2. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства: учебное пособие: М., «Энергия», 1976. – 488 с.
3. Ковалёв А.П., Лелеев Н.С., Виленский Т.В. Парогенераторы: учебник для вузов: М., «Энергоатомиздат», 1985. – 376 с.
4. Липов Ю.М., Самойлов Ю.Ф., Виленский Т.В. Компоновка и тепловой расчёт парового котла: учебное пособие: М., «Энергоатомиздат», 1988. – 208 с.
5. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: учебник для вузов: М.-Л., «Энергия», 1967. – 400 с.
6. Кисельгоф М.Л., Соколов Н.В. Расчёт и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов: нормативный метод: Л., 1971. – 312 с.
7. Левит Г.Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях: М., «Энергоатомиздат», 1991. – 379 с.
8. Изюмов М.А., Росляков П.В. Проектирование и расчёт горелок: учебное пособие: М., МЭИ, 1990. – 113 с.
9. Мочан С.И. Аэродинамический расчёт котельных установок: нормативный метод: Л., «Энергоатомиздат», 1977. – 256 с.
10. Рихтер Л.А., Елизаров Д.П., Лавыгин В.М. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: учебное пособие: М., «Энергоатомиздат», 1987. – 217 с.
11. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и отчистки промышленных газов: справочник: М., «Металлургия», 1986. – 544 с.
12. Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. Справочник по пыле- и золоулавливанию: М., «Энергоатомиздат», 1983. – 312 с.
13. ГОСТ Р 50831-95. Установки котельные. Тепломеханические оборудование. Общие технические требования.

14. Шмиголь И.Н., Сероочистка дымовых газов для тепловых электростанций России: статья: М, ОАО «Всероссийский теплотехнический институт», 2011. – 7с.

Расчёт системы пылеприготовления

Характеристики котельного агрегата					
Наименование	Размерность	Обозначение	Формула или обоснование	Расчет	Значение
Паропроизводительность	т/ч	D_k	-	-	270
Давление пара	кг/см ²	$p_{пп}$	-	-	140
Температура перегрева	°С	$t_{пп}$	-	-	520
Расход топлива	т/ч	B_k	-	-	39,24
Температура воздуха за воздухоподогревателем	°С	$t''_{вп}$	-	-	300
Характеристики топлива					
Рабочая влажность	%	W^r	-	-	12
Влажность пыли	%	$W^{пл}$	табл.1.1[1]	-	6
Гигроскопическая влажность	%	$W^{ги}$	табл.1.1[1]	-	11,5
Выход летучих	%	V^{daf}	-	-	36
Тонкость пыли	%	R_{90}	табл.1.1 [1]	-	26
Коэффициент размоловоспособности	-	$k_{ло}$	-	-	1,3
Теплота сгорания	ккал/кг	Q_i^r	-	-	4311
Теоретический расход воздуха	м ³ /кг	V^0	-	-	4,93
Крупность дробления	%	R_5	принимаем §1-4[1]	-	20

Выбор мельницы и схемы пылеприготовления					
Производительность при работе трех мельниц и 100% работе котла	т/ч	B_1^p	$\frac{1,1 \cdot B_k}{z_M}$	$\frac{1,1 \cdot 39,24}{3}$	14,8
Производительность при работе двухмельниц и 90% работе котла	т/ч	B_2^p	$\frac{0,9 \cdot B_k}{z_M - 1}$	$\frac{0,9 \cdot 39,24}{3 - 1}$	17,9
Количество мельниц на котел	шт.	z_M	выбрано	-	3
Мельница ШБМ 320/570 Ш-25А	-	-	выбрано	-	-
Диаметр барабана	мм	$D_б$	табл.3.1	-	3200
Длина барабана	мм	$L_б$	табл.3.1	-	5700
Предельная шаровая нагрузка	кг	$G_{ш}$	табл.3.1	-	5100
Сечение барабана	м ²	$F_б$	табл.3.1	-	8,04
Объем барабана	м ³	V	табл.3.1	-	45,8
Номинальная скорость вращения вала	об/мин	$n_б$	табл.3.1	-	17,8
Тепловой расчёт					
Температура горячего воздуха перед мельницей	°С	t_1	$t''_{вп} - 10$	300-10	290

Температура холодного воздуха	°С	$t_{х.в.}$	-	-	30
Температура отработавшего сушильного агента в конце установки	°С	t_2	принимаем §5.4 [6]	-	60
Температура топлива перед мельницей	°С	$t_{ТЛ}$	принимаем §5.7 [6,стр. 85]	-	0
Средняя температура топлива в мельнице	°С	t	$\frac{t_2 - t_{ТЛ}}{2}$	$\frac{60 - 0}{2}$	30
Теплоемкость сушильного агента перед мельницей	ккал/(кг·°С)	$c_{са}$	рис.5.4[6]	-	0,246
Теплоемкость холодного воздуха	ккал/(кг·°С)	$c_{хв}$	рис.5.4[6]	-	0,239
Теплоемкость отработавшего сушильного агента в конце установки	ккал/(кг·°С)	c_2	рис.5.4[6]	-	0,24
Теплоемкость сухого топлива при $t=60$ °С	ккал/(кг·°С)	$c_{ТЛ}^c$	[6]	-	0,25
Количество испаренной влаги	кг/кг	ΔW	$\frac{W^r - W^{ПЛ}}{100 - W^{ПЛ}}$	$\frac{12 - 6}{100 - 6}$	0,07
Коэффициент присоса	-	$k_{прс}$	мельница работает под давлением	-	0

Коэффициент, учитывающий долю энергии, превратившуюся в тепло в процессе размола	-	$k_{\text{мех}}$	принимаем §5.5[6,стр.85]	-	0,7
Часовая потеря тепла в окружающую среду	тыс. ккал/ч	Q_5	табл.5.3 [1]	-	39
Удельный расход электроэнергии на размол топлива	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	$\text{Э}_{\text{РЗМ}}$	предварительно задаемся	-	17,67
Физическое тепло сушильного агента	ккал/кг	$q_{\text{с.а.}}$	$g_1 \cdot c_{\text{с.а.}} \cdot t_1$	$g_1 \cdot 0,246 \cdot 300$	$74 \cdot g_1$
Тепло, выделяющееся в результате работы мелющих органов	ккал /кг	$q_{\text{мех}}$	$0,86 \cdot k_{\text{мех}} \cdot \text{Э}_{\text{РЗМ}}$	$0,86 \cdot 0,7 \cdot 17,674$	10,6
Тепло, затрачиваемое на испарение влаги	ккал /кг	$q_{\text{исп}}$	$\Delta W \cdot (595 + 0,47 \cdot t_2 - t_{\text{ТЛ}})$	$0,064 \cdot (595 + 0,47 \cdot 60 - 0)$	39,8
Тепло, уносимое с отработавшим сушильным агентом	ккал /кг	q_2	$(1 + k_{\text{прс}}) g_1 \cdot c_2 \cdot t_2$	$(1 + 0) g_1 \cdot 0,24 \cdot 60$	$15,84 g_1$
Тепло, затрачиваемое на подогрев топлива	ккал /кг	$q_{\text{ТЛ}}$	$\frac{100 - W^r}{100} \left(c_{\text{ТЛ}}^c + \frac{100}{100 - W_{\text{ПЛ}}} \right) (t_2 - t_{\text{ТЛ}})$	$\frac{100 - 12}{100} \left(0,25 + \frac{100}{100 - 6} \right) (60 - 0)$	16,6
Потеря тепла в окружающую среду	ккал /кг	q_5	$\frac{Q_5}{1000 \cdot B_p}$	$\frac{39000}{1000 \cdot 14,4}$	2,7

Количество агента на 1 кг топлива	кг/кг	g_1	$\frac{q_{исп} + q_5 + q_{ТЛ} - q_{Мех}}{c_{с.а.} \cdot t_1 - c_2 \cdot t_2}$	$\frac{39,8 + 2,7 + 16,6 - 10,6}{0,25 \cdot 230 + 0,24 \cdot 60}$	1,1
Определение количества отработавшего сушильного агента за сепаратором					
Весовое количество отработавшего сушильного агента	кг/кг	$g_{ВЛ.В.}$	$g_1 + \Delta W$	1,1+0,07	1,17
Объемное количество отработавшего сушильного агента	м ³ /кг	$V_{ВЛ.В.}$	$\left(\frac{g_1}{\gamma_{о.в.}} + \frac{\Delta W}{0,874} \right) \cdot \frac{273+t_2}{273}$	$\left(\frac{1,1}{1,285} + \frac{0,07}{0,804} \right) \cdot \frac{273+60}{273}$	1,2
Расход отработавшего сушильного агента при работе трех мельниц и 90% нагрузке котла	м ³ /ч	$V'_{СЕ}$	$1000 \cdot V_{ВЛ.В.} \cdot B_p$	$1000 \cdot 1,2 \cdot 14,4$	17280
Расчет потребляемой мощности и производительности мельницы					
Коэффициент учитывающий влияние влажности топлива	-	$\Pi_{ВЛ1}$	$\sqrt{\frac{K^2 - (W_{CP})^2}{K^2 - (W^{ГН})^2}}$	$\frac{13,84^2 - 6,93^2}{13,84^2 - 1,5^2}$	0,871
Величина характеризующая максимальную влажность топлива	-	K	$1 + 1,07W^P$	$1 + 1,07 \cdot 12$	13,84

Средняя влажность топлива в мельнице	%	W_{CP}	$\frac{W_m + 6 \cdot W^{пл}}{7}$	$\frac{6 \cdot 6 + 9,6}{7}$	6,93
Коэффициент пересчета		$\Pi_{ВЛ2}$	$\frac{100 - W^{CP}}{100 - W_1}$	$\frac{100 - 6,93}{100 - 12}$	1,058
Коэффициент, учитывающий влияние степени дробления топлива на производительность мельницы	-	$\Pi_{ДР}$	рис. 4.6 [6]	-	1,0
Насыпной удельный вес шаров	кг/ч	$\gamma_{ш.нас}$	-	-	$4,9 \cdot 10^3$
Коэффициент, учитывающий снижение производительности вследствие износа шаров	-	$K_{ЭК}$	принимаем [6]	-	0,9
Величина, учитывающая степень тонкости помола пыли	-	$\left(\sqrt{\ln \frac{100}{R_{90}}} \right)$	-	$\left(\sqrt{\ln \frac{100}{26}} \right)$	1,195
Степень заполнения барабана шарами	-	φ_6	$\frac{G_{ш}}{V_6 \cdot \gamma_{ш}}$	$\frac{5,4}{45,8 \cdot 4,9}$	0,227

Производительность мельниц	т/ч	В	$\frac{K_{\text{ло}} * K_{\text{ЭК}} * \Pi_{\text{вл1}} * \Pi_{\text{вл2}} * L_{\text{б}} * D_{\text{б}}^{2,4} * n_{\text{б}}^{0,8} * \varphi_{\text{б}}^{0,6} * 0,11}{\Pi_{\text{др}} * \left(\sqrt{\ln \frac{100}{R_{90}}} \right)}$	$\frac{(0,11 * 5,7 * 3,2^{2,4} * 17,8^{0,8} * 0,227^{0,6} * 1,3 * 0,871 * 1,058 * 0,9)}{1 * 1,195}$	37,95
Мощность, потребляемая на вращение барабана	кВт	$N_{\text{в,дв}}$	$\frac{1}{0,865} (0,122 * D_{\text{б}}^3 * \varphi_{\text{б}}^{0,9} * L_{\text{б}} * n_{\text{б}} * K_{\text{тл}} * K_{\text{бр}} * \varphi_{\text{ш,нас}} + 1,8D_{\text{б}} * L_{\text{б}} * n_{\text{б}} * S_{\text{б}})$	$\frac{1}{0,865} (0,122 * 3,2^3 * 0,227^{0,9} * 4,9 * 10^3 * 5,2 * 17,8 * 1,03 + 1,8 * 3,2 * 5,2 * 17,8 * 0,078)$	623,8
Коэффициент, учитывающий свойства размалываемого топлива	-	$K_{\text{тл}}$	рис. 4.10 [6]	-	1,03
Мощность электродвигателя, с учетом необходимого запаса	кВт	$N_{\text{эл}}$	$1,1 * N_{\text{в,дв}}$	$1,1 * 623,8$	686,134
Удельный расход электроэнергии при работе трех мельниц и 100% нагрузке котла	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	$\mathcal{E}_{\text{РЗМ1}}$	$\frac{N_{\text{в,дв}}}{\text{КПД}_{\text{эл,дв}}} / \text{В}$		17,674

Определение относительной влажности отработавшего сушильного агента и количества сбросного воздуха					
Влагосодержание отработавшего сушильного агента	г/кг	$d_{с.а.2}$	$\frac{g_1 d_{БЛ.В.} + 1000 \cdot \Delta W}{g_1 \cdot \left(1 - \frac{d_{БЛ.В.}}{1000}\right)}$	$\frac{1,1 \cdot 10 + 1000 \cdot 0,07}{1,1 \cdot \left(1 - \frac{10}{1000}\right)}$	68,8
Относительная влажность отработавшего сушильного агента	%	φ	рис.5.4 [6]	-	53
Температура точки росы	°С	$t_{т.р.}$	рис.5.4 [6]	-	56
Минимально допустимая температура отработавшего сушильного агента во избежание конденсации водяных паров	°С	t'_2	для установок с прямым вдуванием $t_{т.р.}+3$	56+3	59
Запас по температуре в конце установки	°С	Δt	$t_2 - t'_2$	60-59	1
Весовое количество первичного воздуха	кг/ч	$g_{ПЕР}$	$\frac{g_1 (Z_M - 1) B}{0,9 * B_K}$	$\frac{1,1 * 2 * 14,4}{0,9 * 39,24}$	1,01
Количество первичного воздуха в процентах от теоретически необходимого	%	$r_{ПЕР}$	$\frac{g_1 \cdot 100}{V^0 \cdot 1,285}$	$\frac{1,1 \cdot 100}{4,93 \cdot 1,285}$	19,9

Рекомендуемое количество первичного воздуха	%	$r_{ПЕР.ПЕК}$	табл.5.4 [6]	-	20-30
Диаметр выходного патрубка сепаратора	м	d	-	-	1,3
Объем сепаратора	м ³	V_{ce}	$\frac{V_{MB}}{3500}$	$\frac{92510}{3500}$	26,43
Диаметр сепаратора	м	D_{ce}	$\sqrt[3]{\frac{V_{ce}}{0,435}}$	$\sqrt[3]{\frac{26,43}{0,435}}$	3,93
Типоразмеры сепаратора пыли ТКЗ-ВТИ			$D_{ce} = 4,25\text{м}; d_{ce} = 1,6\text{м}.$ $d_{ce} = 1,4\text{м};$ $V_{ce} = 33,4 \text{ м}^3$		
Концентрация пыли на входе в сепаратор	кг/кг	μ_{ce}	$\frac{(1 - \Delta W)K_{ц}}{g_1(1 + K_{прс}) + \Delta W}$	$\frac{(1 - 0,07) * 2,2}{1,1 + 0,07}$	2,23
Скорость сушильного агента в выходном патрубке	м/с	ω_{ce}	$\frac{V_{MB}}{d_{ce}^2 * 3600 * 0,785}$	$\frac{92510}{1,6 * 3600 * 0,785}$	12
Сопротивление мельницы с сепаратором	мм.вод.ст	$\Delta H_{m.ce}$	$\varepsilon_{m.ce}(1 + 0,8\mu_{ce})\gamma_{ce} \frac{\omega_{ce}^2}{2g}$	$3*(1+0,8*2,23)*1,022*\frac{12^2}{2*9,8}$	62

Аэродинамический расчёт

Исходные данные для расчёта воздушного тракта			
Номер и наименование участка	Температура среды °C	Коэффициент избытка воздуха	Секундный расход среды $V_d, \text{м}^3/\text{с}$
1. Участок от воздухозаборного окна до вентилятора	30	1,26	$\frac{B_p V_0 \alpha (t_{в-ха} + 273)}{273 \cdot 3600} = 132$
2. Участок от выхода из вентилятора до первого воздухоподогревателя	30	1,26	132
3. Участок от входа в ВП1 и выход из ВП2	см. расчет.		
4.Тракт первичного дутья	290	1,2	49
5.Тракт вторичного дутья	290	1,2	196

Расчёт воздушного тракта

Наименование сопротивления	Расчетные данные	Расчетная скорость $\omega, \text{м}/\text{с}$	Коэффициент сопротивления ξ и способ его определения	Сопротивление $\Delta h = \xi \cdot h_d, \text{мм.вод.ст.}$
Участок от воздухозаборного окна до вентилятора				
Заборное окно с шибером	$F = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}^2$	$\frac{132}{6 \cdot 2} = 11$	0,3 табл. VII-3 [9]	$0,3 \cdot 6,2 = 1,9$
Плавный поворот диффузор на 90°	$\frac{R}{b} = 1$	14	0,35 табл. VII-19 [9]	$0,35 \cdot 12,5 = 4,4$

Трение по длине тракта	$\lambda = 0,02;$ $d_э = \frac{2 \cdot 3 \cdot 3,1}{3 + 3,1} = 3,05$	14	$0,02 \cdot \frac{30,6}{3,05} = 0,2$	$0,2 \cdot 10 = 2$
Суммарное сопротивление участка Δh_I	-	-	-	8,3
Участок от выхода из вентилятора до воздухоподогревателя				
Диффузор за вентилятором на 90°	$\frac{R}{b} = 1$	$\frac{132}{2 \cdot 4} = 14,5$	0,1 табл. III-1	$0,1 \cdot 10 = 1$
Два поворота на 90°	$\frac{R}{b} = 1$	$\frac{132}{2 \cdot 4} = 14,5$	2*0,3	$0,6 \cdot 10 = 6$
Трение	$\lambda = 0,02;$ $d_э = \frac{2 \cdot 3 \cdot 3,1}{3,1 + 3} = 3,05$	14	$0,02 \cdot \frac{17}{1,8} = 0,19$	$0,08 \cdot 10 = 0,8$
Суммарное сопротивление участка Δh_{II}	-	-	-	7,8
Участок от входа в ВП II и выход из ВП I				
Первый воздухоподогреватель по ходу воздуха	$\xi = C_0 \xi_{тр} z_{тр};$ $z_{тр}=175; \xi_{тр} = 0,255$	5,3	0,255 рис.VII-7 [9]	$44,6 \cdot 1,5 = 66,9$
Второй воздухоподогреватель по ходу воздуха	$\xi = C_0 \xi_{тр} z_{тр};$ $z_{тр}=213; \xi_{тр} = 0,25$	4,8	0,45 рис.VII-7 [9]	$53,3 \cdot 1,4 = 74,5$
Поворотный короб (2x90)	$\frac{R}{b} = 1$	8,4	1,2 п. 3-7 [9]	$1,2 \cdot 0,9 = 1$

Суммарное сопротивление участка Δh_{III}	-	-	-	111
Тракт вторичного воздуха				
Конфузор в прямом канале	$\frac{F_2}{F_1} = 0,56$	13	0,2 рис.VII-15 [9]	$0,2 \cdot 5,2 = 1,0$
Поворот на 90° к горелке с изменением сечения	$\frac{R}{b} = 0,5$ $\frac{F_2}{F_1} = 0,75$	15	0,4 рис.VII-19 [9]	$0,4 \cdot 15 = 6,0$
Сопротивление горелки	-	20	$\xi_r(1 + 0,8\mu) \cdot \frac{\omega^2 \gamma}{2g}$	$2 \cdot 1,19 \frac{18^2 \cdot 1.007}{2 \cdot 9,81} = 58,5$
Трение	$\lambda = 0,03;$ $d_3 = 1,8$	19,6	$0,03 \cdot \frac{22,5}{1,8} = 0,38$	$0,38 \cdot 12,5 = 4,9$
Суммарное сопротивление тракта вторичного воздуха	-	-	-	196.8
Тракт первичного воздуха				
Поворот на 90°	$\frac{R}{b} = 0,5$	$\frac{131}{2 \cdot 1,8 \cdot 1,8} = 20,2$	0,37 рис.VII-15 [2]	$0,37 \cdot 12 = 4,4$
Поворот на 90° с изменением сечения	$\frac{R}{b} = 0,5$	20,2	0,4 рис.VII-15 [2]	$0,4 \cdot 12 = 4,8$

Трение	$\lambda = 0,02;$ $d_3 = 1,5$	20,2	$0,02 \cdot \frac{44}{1,5} = 0,57$	$0,58 \cdot 12 = 7,0$
Суммарное сопротивление участка Δh_{IV}	-	-	-	16,2

Расчет отдельных элементов первичного дутья

Наименование	Размерность	Обозначение	Формула или обоснование	Расчет	Значение
Мельница с сепаратором					
Коэффициент сопротивления	-	ξ_{M+CE}	принимаем	-	3,9
Коэффициент сопротивления оборудования	-	$\xi_{ОБОР}$	$\xi_{M+CE} (1 + 0,8 \cdot \mu_{CE}^{\prime\prime})$	$3,9 \cdot (1 + 0,8 \cdot 2,23)$	6
Сопротивление мельницы с сепаратором	мм.вод.ст.	ΔH_{M+CE}	$\xi_{ОБОР} \frac{\omega_{CE}^2 \cdot 2\gamma}{2g}$	$6 \cdot \frac{12^2 \cdot 2 \cdot 0,9}{2 \cdot 9,81}$	62
Пылепровод сепаратор-горелки					
Длина пылепровода	$м$	l	-	-	18
Коэффициент трения	-	λ	принимаем [9]	-	0,03
Коэффициент трения при наличии пыли	-	$\lambda_{ПЛ}$	$\lambda(1 + 2,5\mu)$	$0,03(1 + 2,5 \cdot 1,2)$	0,05
Эквивалентный диаметр	$м$	d_3	для круглого сечения $d_3 = d$	-	1,5

Сопротивление трения	мм.вод.ст	ΔH_{TP}	$\lambda_{ПЛ} \frac{l}{d_3} \cdot \frac{\omega^2 \gamma}{2g}$	$0,05 \cdot \frac{18}{1,5} \cdot \frac{17^2 \cdot 1,007}{2 \cdot 9,81}$	9,2
Коэффициент сопротивления поворота на 120°	-	ε_{120}	рис.7.10(б) [6]	-	0,21
Коэффициент сопротивления поворота на 115°	-	ε_{115}	рис.7.10(б) [6]	-	0,26
Суммарный коэффициент сопротивления	-	ξ_{Σ}	$\varepsilon_{120} + \varepsilon_{115}$	0,21+0,26	0,47
Суммарное сопротивление участка	мм.вод.ст	ΔH	$\xi_{\Sigma} + \Delta H_{TP}$	0,21 + 0,26 + 0,14 + 9,2	9,81
Прямоточная горелка					
Коэффициент сопротивления горелки	-	ξ_G	принимаем табл.7.4 [6]	-	1,5
Сопротивление горелки	мм.вод.ст	$\Delta H_{ГОР1}$	$\xi_G (1 + 0,8\mu) \cdot \frac{\omega^2 \gamma}{2g}$	$1,5 \cdot (1 + 0,8 \cdot 1,2) \cdot \frac{18^2 \cdot 1,007}{2 \cdot 9,81}$	48,8
Потери напора на подъем топлива					
Потеря напора на подъем топлива	мм.вод.ст	$\Delta H_{ПЛЛ}$	$h \cdot \mu_{CE}'' \cdot \gamma_{CE}''$	$14 \cdot 1,29 \cdot 0,9$	16,3
Общее сопротивление тракта					
Сопротивление пыле-приготовительной системы	мм.вод.ст	$\Delta H_{НАГ}$	$\Delta H_{M+CE} + \Delta H_{TP} + \Delta H_{ПЛЛ} + \Delta H_{ГОР1} + \Delta H$	$62 + 9,2 + 48,8 + 16,3 + 9,81$	146,11

Общее сопротивление первичного дутья	мм.вод.ст	$\Delta H_{\text{ОБЩ}}$	$\sum h_I$	8 + 7,8 + 111 + 10,28 + 7,04 + 11 + 1,08 + 0,875 + 62 + 48,8 + 9,81	278
Расчётная производительность вентилятора	тыс.м ³ /ч	Q	$Q * \beta_2$	1,1 * 132 * 3600	522,7
Вентилятор типа: ВДН-28-Пу	-	-	-	-	

Расчёт газового тракта

Исходные данные для расчёта газового тракта			
Номер и наименование участка	Температура среды °C	Коэффициент избытка воздуха	Секундный расход среды $V_d, \text{м}^3/\text{с}$
1. От выхода из топочной камеры до выхода из второго воздухоподогревателя	см. ниже		
2. Участок выхода из второго воздухоподогревателя и вход в золоуловитель	164	1,28	$\frac{B_p(V_r + 0,15V_0)(t_{cp} + 273)}{273 \cdot 3600} = 94$
3. Золоуловитель	164	1,28	94
4. Участок от выхода из золоуловителей до дымососа	145	1,43	89,12
5. От выхода из дымососа до входа в дымовую трубу	145	1,43	89,12

Исходные данные поверхностей котла

Наименование величины	Обозначение	Единица измерения	Поворот на выходе из топки	Ширмы	ГКП	ХКП	Поворот на входе в опускную шахту	ЭК I	ВП I	ЭК II	ВП II
Диаметр труб	d	мм	-	38	32	32	-	32	37	32	40
Расположение труб	-	-	-	кор.	кор.	кор.	-	шх.	шх.	шх.	шх.
Шаг труб	s_1 / s_2	мм	-	$\frac{820}{40}$	$\frac{96}{48}$	$\frac{96}{48}$	-	$\frac{64}{51}$	$\frac{56}{44}$	$\frac{56}{51}$	$\frac{68}{56}$
Относительные шаги	σ_1 / σ_2	-	-	$\frac{21,6}{1,05}$	$\frac{3}{1,5}$	$\frac{3}{1,5}$	-	$\frac{2}{1,6}$	$\frac{1,6}{1,1}$	$\frac{1,8}{1,6}$	$\frac{1,7}{1,4}$
Число рядов труб по ходу газов	z_i	-	-	10	15	22	-	8	-	16	-
Длина канала по ходу газов	l	м	-	7,8	1,01	2,1	-	1,7	3,2	1,5	3
Сечение для прохода газов/воздуха	F_T / F_B	м ²	132	67	34,6	39,8	103	19,8	28,4/10,6	31,2	20/28
Средний избыток воздуха	α	-	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,215	1,24	1,28
Средний объем дымовых газов/воздуха	V	м ³ / кг	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	6,48	6,5	6,601
Средняя температура газов/воздуха	ϑ / t_B	°C	1070	1008	832	742	641	563	412/300	298	164
Средняя скорость газов/воздуха	ω	м/с	12,0	5,05	6,1	6,5	6,5	8,1	8,6/4,6	8,0	9,3/4,9

Поправочный коэффициент	K	-	-	1,2	1,2	1,2	-	1,2	-	1,2	-
Коэффициент формы пучка	ψ	-	-	-	1,6	1,8	-	1,65		1,65	

Расчёт тяги

Наименование сопротивления	Расчетные данные	Расчетная скорость ω , м/с	Коэффициент сопротивления ξ и способ его определения	Сопротивление $\Delta h = \xi h_d$, мм.вод.ст.
Участок от выхода из топочной камеры до выхода из воздухоподогревателя II				
Поворот газов на 90° выход из топки	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{72}{132} = 0,55; \frac{a}{b} = \frac{18}{11} = 1,63$	12,0	$0,7 \cdot 2,1 \cdot 0,95 = 0,16$ рис. VII-16,17,19 [9]	$1,4 \cdot 1,6 = 2,24$
Ширмы	-	5,05	т.к. $\omega < 10$ м/с, то $\xi = 0$ п. 2.5 [9]	0
ГКП	-	6,1	$C_{\sigma} C_{Re} \xi_{тр} z_{тр} = 1,06 \cdot 0,9$ $\cdot 17 = 11,1$ рис. VII-6 [9]	$11,1 \cdot 1,8 = 20,3$
ХКП	-	6,5	$C_{\sigma} C_{Re} \xi_{тр} z_{тр} = 1,3 \cdot 0,94$ $\cdot 0,6 = 0,73$ рис. VII-6 [9]	$1,5 \cdot 51 \cdot 0,73 = 54$

Газоповоротная камера	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{78}{84} = 0,92; \frac{a}{b} = 2,5$	6,5	$1,16 \cdot 0,98 = 1,12$ рис. VII-16,17,19 [9]	$1,12 \cdot 1,15 = 1,3$
ЭК I	$\xi_{\text{ТР}} = 0,92; C_{\sigma} = 0,55;$ $C_{\text{Re}} = 1,45; z_{\text{ТР}} = 8$	8,1	$\Delta h = C_{\sigma} \cdot C_{\text{Re}} \cdot \xi_{\text{ТР}}(z_{\text{ТР}} + 1)$ рис. VII-7 [9]	$\Delta h = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot 1,7$ $\cdot 37 = 45,2$
ВП I	$\xi_{\text{ВХ}} = 0,26$ рис. VII 11 [9] $\xi_{\text{ВЫХ}} = 0,38$ рис. VII 11 [9] $F_{\sigma}/F_M = 0,45$ $\Delta h_{\text{ИЗМ}} = (\xi_{\text{ВХ}} + \xi_{\text{ВЫХ}}) \frac{\rho \omega^2}{2}$	8,6	$\Delta h_{\text{ТР}} = (0,86 \cdot 2,11) = 2,27$ $\Delta h_{\text{ИЗМ}} = (0,38 \cdot 3,6) = 1,43$ мм.вод.ст.	$\Delta h = \Delta h_{\text{ТР}} + \Delta h_{\text{ИЗМ}}$ $= 1,43 + 2,27$ $= 3,7$
ЭК II	$\xi_{\text{ТР}} = 0,92; C_{\sigma} = 0,95;$ $C_{\text{Re}} = 0,5; z_{\text{ТР}} = 16$	8	$\Delta h = C_{\sigma} \cdot C_{\text{Re}} \cdot \xi_{\text{ТР}}(z_{\text{ТР}} + 1)$ рис. VII-7 [9]	$\Delta h = 1,4 \cdot 0,95 \cdot 0,6 \cdot 75$ $= 63,1$
ВП II	$\xi_{\text{ВХ}} = 0,45$ рис. VII 11 [9] $\xi_{\text{ВЫХ}} = 0,38$ рис. VII 11 [9] $F_{\sigma}/F_M = 0,45$ $\Delta h_{\text{ИЗМ}} = (\xi_{\text{ВХ}} + \xi_{\text{ВЫХ}}) \frac{\rho \omega^2}{2}$	9,3	$\Delta h_{\text{ТР}} = 4,44$ рис. VII-4 [9] $\Delta h_{\text{ИЗМ}} = 1,178$ мм.вод.ст.	$\Delta h = \Delta h_{\text{ТР}} + \Delta h_{\text{ИЗМ}}$ $= 1,178 + 4,44$ $= 6,3$
Суммарное сопротивление участка Δh_{γ}	-	-	-	198,9
Участок от выхода из воздухоподогревателя и входа в золоуловитель				
Поворот конфузур на 90° с закругленными кромками	$\frac{F_1}{F_2} = 0,36; \frac{a}{b} = 2,33; \frac{r}{b} = 0,3$	10	$1 \cdot 0,4 \cdot 0,5 = 0,2$ рис. VII-16,17,19 [2]	$0,2 \cdot 4,2 = 0,84$
Трение на участке	$l = 13 \text{ м}; d_{\text{э}} = 3 \text{ м}$	10	$0,02 \cdot \frac{13}{3} = 0,34$	$0,34 \cdot 14,2 = 6,2$

Суммарное сопротивление участка Δh_{II}	-	-	-	6,3
Золоуловители				
Суммарное сопротивление участка Δh_{III}	Установлены горизонтальные электрофильтры типа УГ2-3-37-01	-	табл. 6.3 [13]	20
Участок от выхода из золоуловителей до дымовой трубы				
Коэффициент сопротивления при повороте на 90 градусов	ε_1	-	п.2.31 [9]	0,3
Динамическое давление	$h_{дин}$	—	Стр 186 [9]	2,1
Сопротивление хвостового участка	$\Delta h_{хв}$	мм.вод.ст	0,3 п.2.31 [9]	$0,3 \cdot 2,1 = 0,63$
Коэффициент сопротивления трения	$\varepsilon_{тр}$	-	$\frac{l * \lambda}{d}$	$\frac{0,04 * 33}{2} = 0,66$
Коэффициент сопротивления 2х поворотов на 90 градусов	ε	-	$0,3 * 2$	0,6
Суммарное сопротивление от котла до золоуловителя	$\Delta h_{зл}$	мм.вод.ст	$(\sum \varepsilon + \varepsilon_{тр}) h_{дин}$	$(0,6 + 0,66) * 5 = 6,3$
Сопротивление золоуловителя	Δh_1	мм.вод.ст	п. 2.36 [9]	15
Динамическое сопротивление	$h_{дин}$	-	-	15
Суммарное сопротивление от дымососа до труб	$\Delta h_{д}$	мм.вод.ст	$\varepsilon * h_{дин}$	$0,3 * 15 = 4,5$

Суммарное сопротивление участка	$\sum \Delta h$	мм.вод.ст	$\Delta h_d + \Delta h_{зл} + \Delta h_{хв} + \Delta h_1$	$0,63+5+15+4,5 = 25,13$
---------------------------------	-----------------	-----------	---	-------------------------

Сопротивление дымовой трубы

Наименование	Размерность	Обозначение	Формула или обоснование	Расчет	Значение
Коэффициент потерь на трение в газоотводящем стволе	-	λ	принимаем по рис. III-44 стр. 36 [9]	-	0,05
Сопротивление дымовой трубы	мм.вод.ст.	$\Delta h_{ТР}$	$\frac{\lambda \rho' \cdot \omega_0^2}{8i} \rho$	$\frac{0,05 * 0,1 * 25,7^2}{8 * 0,01 * 2}$	20,6
Определение перепада полных давлений по газовому тракту с учётом самотяги					
Суммарное сопротивление газового тракта	мм.вод.ст.	$\sum h_{I-VI}$	$h_I + h_{II} + h_{III} + h_{IV} + h_V + h_{VI}$	$11,43 + 25,13 + 40,6 + 198,9 + 16,1 - 89,23$	212,2
Среднее барометрическое давление	мм.вод.ст.	$h_{БАР}$	принимаем стр.38 [9]	-	760
Среднее эффективное давление по газовому тракту	мм.вод.ст.	$h_{ЭФ}$	$h_{БАР} - \frac{\Delta h_{BC}}{2 \cdot 13,6}$	$760 - \frac{145,2}{2 \cdot 13,6}$	752,2
Сопротивление тракта с учетом поправок	мм.вод.ст.	$h_{ПОПР}$	$\sum h_{I-V} \cdot M_o - \frac{h_{БАР}}{h_{ЭФ}}$ рис. VII-26 [9]	$212,2 \cdot 1 - \frac{760}{752,2}$	211
Высота опускной шахты	м	$H_{ШХ}$	-	-	21
Средняя температура в опускной шахте	°С	$\vartheta_{ШХ}$	принимаем	-	411
Приведённая самотяга дымовых газов для опускной шахты	(мм.вод.ст)/м	h_C^1	принимаем рис. VII-26 [9]	-	0,7

Самотяга опускной шахты	мм.вод.ст.	$h_{ШХ}$	$H_{ШХ} \cdot h_C^I$	$0,7 * 23$	16,1
Самотяга дымовой трубы	мм.вод.ст.	$h_{ТР}$	$h_C = -0,3$ рис.VII-26 [9] $h_C \cdot H_{ТР}$	$-0,3 \cdot 120$	-60
Самотяга топочной камеры	мм.вод.ст.	$h_{ТОО}$	$h_C = -0,9$ рис.VII-26 [9] $h_C \cdot H_{ТОО}$	$-0,9 \cdot 21,4$	-19,26
Суммарная самотяга газового тракта	мм.вод.ст.	Δh_C	$h_{ТР} + h_{ШХ} + h_{ГП}$	$-60 - 19,26 + 16,1$	-63,16
Разряжение на высоте из топки, необходимое для предотвращения выбивания газов	мм.вод.ст.	h_T''	принимаем стр. 39 [9]	-	2,0
Полное расчетное давление	мм.вод.ст.	$\Delta H_{П}$	$\beta * \sum h_{I-VI}$	$212,2 * 1,2$	255
Производительность дымососа	тыс.м ³ /ч	V_{∂}	$V_{сек} \cdot 3,6 \cdot 1,1$	$380 \cdot 1,1$	418,5
Дымосос Д-21,5х2	-	-	-	-	-