

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Промышленная теплоэнергетика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ПЕРЕВОД КОТЛОВ БЕЛОВСКОЙ ГРЭС НА СУХУЮ ГАЗООЧИСТКУ
УДК 621.181:66.074.2(571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Афанасьев Сергей Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	А.С. Разва	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально- гуманитарных наук	Н.Г. Кузьмина	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент Отделения контроля и диагностики	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	А.М. Антонова	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата, указанными в ФГОС ВПО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Универсальные компетенции</i>
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
	<i>Профессиональные компетенции</i>
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
Р8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
Р10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.

P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами на основе АСУТП; использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
	<i>Специальные профессиональные</i>
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Промышленная теплоэнергетика

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель профиля
Е.Е. Бульба

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5БЗБ1	Афанасьеву Сергею Сергеевичу

Тема работы:

Перевод котлов Беловской ГРЭС на сухую газоочистку

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1 июня 2018 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

«Беловская ГРЭС пгт. Инской» мощностью энергоблока 200 МВт; режим работы непрерывный; вид сырья – уголь; установленная тепловая нагрузка 115 Гкал/час.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ существующей системы газоочистки 2. Техническое описание системы обеспыливания газов 3. Разработка технического решения системы обеспыливания газов 4. Опыт перевода котлов на сухую газоочистку 5. Новое технологическое решение системы обеспыливания газов 6. Расчет промышленной системы газоочистки 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 8. Социальная ответственность 9. Заключение
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Н.Г. Кузьмина, старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	М.В. Василевский, доцент Отделения контроля и диагностики

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>1 декабря 2017года</p>
--	----------------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	А.С. Разва	к.т.н., доцент		01.12.17

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Афанасьев Сергей Сергеевич		01.12.17

Реферат

Выпускная квалификационная работа 105 с., 18 рисунков, 8 таблиц, 22 источника.

Ключевые слова: Очистка газа, Беловская ГРЭС, сухая газоочистка, мокрая газоочистка, пылеуловитель.

Объектом исследования является система газоочистки Беловской ГРЭС.

Цель данной работы является определение технической, экономической и социальной целесообразности перевода котлов ПК-40-1 Беловской ГРЭС с мокрой очистки газов на сухую.

Полученные результаты показали, что реконструкцию можно проводить и по техническим и по экономическим соображениям.

Изучен опыт перевода котлов на сухую газоочистку на примере Ярославской ТЭЦ-1. Проведен анализ процесса очистки газов на Беловской ГРЭС. Предложено новое техническое решение системы обеспыливания газов

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 16.0, чертежи выполнены в AutoCAD.

Введение

1. Сведения о предприятии	8
2. Анализ существующей системы газоочистки	10
2.1 Физико-химические свойства пыли	11
2.2 Аппараты мокрой очистки газов	14
2.3 Аппараты сухой очистки газов	16
3. Техническое описание системы обеспыливания газов на Беловской ГРЭС	23
3.1 Описание котла ПК-40-1	23
3.2 Общая система пылеприготовления	25
3.3 Система газоочистки	30
4. Разработка технического решения системы обеспыливания газов на Беловской ГРЭС	42
4.1 Опыт перевода котлов на сухую газоочистку	42
4.2 Новое технологическое решение системы обеспыливания газов ...	45
4.3 Расчет промышленной системы газоочистки	55
4.4 Пневмотранспорт	61
5. Использование топливных зол при производстве цемента	65
5.1 Промышленный опыт использования топливных зол	67
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение	72
6.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения.....	73
6.2 Смета затрат на проектирование.....	74
6.3 Расчет годовых затрат на существующую систему газоочистки.....	78
6.4 Расчет годовых затрат на новое газоочистное оборудование.....	79
7. Социальная ответственность	84
7.1 Предупреждение и ликвидация аварий и неполадок в системе пылеприготовления	85
7.2 Взрыв в пылесистеме	89
7.3 Неисправность в работе компрессора	90
7.4 Правила техники безопасности при обслуживании компрессоров	92
7.5 Эксплуатация золоуловителей	93
7.6 Профилактические мероприятия по предупреждению пожара в котлотурбинном цехе	98
7.7 Способы тушения пожара	98
Заключение	102
Список используемой литературы	104

ВВЕДЕНИЕ

Среди проблем защиты окружающей среды наиболее актуальной является охрана воздушного бассейна, так как загрязненный воздух является основным фактором, обуславливающим экологическую обстановку. Охрана воздушной среды от загрязнений промышленными выбросами является важнейшей социальной задачей, входящей в комплекс задач глобальной проблемы охраны окружающей среды и улучшения использования природных ресурсов.

Также данная тема актуальна тем, что стремительное развитие научно-технического прогресса привело к существенному увеличению потребления энергоресурсов. На фоне увеличивающегося потребления каменного угля встает вопрос о защите атмосферного воздуха от загрязнения твердыми частицами сажи и золы.

Цель работы: анализ существующей системы обеспыливания газов, разработка механической системы обеспыливания газов на Беловской ГРЭС, обоснование перевода на сухую очистку газа.

Достижение цели предлагает решение следующих задач:

1. Провести анализ различных типов золоуловителей.
2. Проанализировать процесс очистки газов на Беловской ГРЭС.
3. Обоснование перевода на сухую газоочистку.
4. Разработка технических решений и основных узлов системы газоочистки.

Наиболее распространенные методы обеспыливания можно разделить на электростатические, мокрые и механические. Выбор оборудования зависит от того какими свойствами обладают частицы, от состава, влажности

потока, температуры, от режимов работы технологического объекта. При этом важнейшую роль играют компоновочные решения, экономические вопросы.

Мокрое обеспыливание требует дополнительного решения задач об очистке вышедшей из системы воды, забивания трактов, коррозии поверхностей оборудования и предотвращения отложений.

Электростатическое обеспыливание требует поддержание равномерного распределения очищаемого газа по всем элементам, поддержание режимов ионизации газа, образования агломератов и их удаления. Электростатическое обеспыливание требует применения дорогостоящего, громоздкого оборудования и квалифицированного обслуживания. Эффективность системы электростатической очистки зависит от электрического сопротивления частиц, их адгезионных и аутогезионных характеристик, термодинамических свойств очищаемого потока.

Одним из наиболее распространенных и надежных способов очистки промышленных газов от взвешенных частиц является механическая очистка в сухих аппаратах. Большинство центробежных аппаратов можно изготавливать непосредственно на монтажных площадках, они дешевле других аппаратов, проще в эксплуатации. В технике обеспыливания газов от дисперсной примеси различных производств в основном применяются циклонные групповые и батарейные газоочистители. Однако они обладают низкой эффективностью очистки по сравнению с одиночными циклонными аппаратами с собственными приемниками пыли. В циклонном аппарате структурирование дисперсной фазы происходит на ограждающих поверхностях сепарационного объема и продолжается в приемнике, причем по мере продвижения газопылевой смеси к приемнику происходит непрерывное уменьшение содержания газовой фазы и увеличение концентрации дисперсной фазы, и на конечной стадии происходит затухание концентрированного вихря с уменьшением скорости газовой и твердой фазы до нуля. Чтобы процесс газоочистки в противоточных циклонах проходил

устойчиво, необходимо осуществлять подготовку потока – разгрузку от крупных примесей и сгустков частиц, с одновременным снижением исходной запыленности газов, а также осуществлять концентрирование потоков.

1. Общие сведения о предприятии

Направление деятельности предприятия - выработка тепловой и электрической энергии для покрытия базисных нагрузок Кузбасской энергосистемы.

Предприятие базируется в пос. Инском (в 8 км к северо-востоку от г. Белово) на двух промплощадках. Основная площадка - это территория самой Беловской ГРЭС; площадка вторая занята действующим золоотвалом № 2.

Ближайшие жилые кварталы пос. Инского находятся в 500-600 м к юго-востоку от территории основной площадки ГРЭС.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) для ГРЭС установлена радиусом 1400 м от 2-ой дымовой трубы и согласована службой Госсанэпиднадзора.

Размер СЗЗ от золоотвала № 2 принят равным 300 м согласно САНПИН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

Электрическая мощность БГРЭС - 1200 МВт, тепловая мощность по горячей воде - 123 Гкал/час. На электростанции установлены шесть энергоблоков мощностью по 200 МВт с двухкорпусными пылеугольными котлами типа ПК-40-1 паропроизводительностью по 640 т/час.

Очистка дымовых газов от выносимой из котлов золы осуществляется в золоулавливающих установках типа МВ-УО ОРГРЭС - комплект из скрубберов и труб-коагуляторов Вентури (ТКВ).

Основным топливом для работы котлоагрегатов является каменный уголь с угольных шахт и разрезов Беловского и Ленинск-Кузнецкого районов Кемеровской области. По результатам постоянного анализа качественного состава топлива, проводимого лабораторией предприятия, зольность угля составляет – 17,78 %; калорийность - 4830 ккал/кг; содержание серы - 0,20%. Среднемесячный расход топлива по ГРЭС составил 275871 тонн.

Среднегодовое (2005г.) число часов работы 1 корпуса котла составляет 6685.

2. Анализ существующих систем газоочистки

2.1. Физико-химические свойства пыли

На эффективность пылеуловителей значительно влияют физико-химические свойства улавливаемой пыли. Степень очистки газа зависит также от дисперсного состава и плотности частиц пыли. Для правильного выбора пылеочистного оборудования необходимо учитывать и другие свойства пыли. Так, слипаемость пыли, склонность ее к истиранию или способность образовывать статические заряды существенно влияют на выбор пылеочистного оборудования. Поэтому в общем случае необходим предварительный комплексный анализ пыли как объекта улавливания. При таком анализе, кроме дисперсного состава пыли и плотности ее частиц, определяют упругость, твердость, абразивность, гигроскопичность, химический состав, термическую стойкость, токсичность, электрические и магнитные свойства, шероховатость поверхности, форму, угол естественного откоса слоя пыли и т.д.

Дисперсность. Дисперсность - одно из важнейших свойств, характеризующих пылевидные материалы. Степень дисперсности промышленных пылей необходима для выполнения расчетов пылеуловителей и оценке степени улавливания пылеочистных устройств. Дисперсность характеризуется диаметром (для сферических частиц), эквивалентным диаметром d_3 (для частиц произвольной формы) и удельной поверхностью частиц.

Удельная поверхность частиц (отнесенная к единице объема) правильной сферической формы

$$s = 6F_{\text{ч}}/(\pi d^3) = 6/d.$$

Удельная поверхность частиц несферической формы

$$s = 6F_{\text{ч}}/(\pi d^3_{\text{э}}) = 6f \pi d^2_{\text{э}}/(\pi d^3_{\text{э}}) = 6fd_{\text{э}}$$

Известно много методов определения дисперсного состава пыли. Крупная пыль может быть проанализирована путем рассеивания на ситах ячеек с различным размером, а тонкая - методом седиментации (осаждения) в жидкостях, подсчетом числа частиц фракций, сепарацией в потоке и т.д. Дисперсный состав пыли определяют также ротационным анализатором РАД-1 и каскадным импактором НИИОГАЗа, при этом пробу с пылью отбирают непосредственно из запыленного потока при соблюдении условия изокINETичности.

Плотность. Плотность - важный физический Параметр частиц пыли, от которого зависит эффективность работы пылеуловителей.

Истинная плотность - это плотность материала, из которого состоят частицы.

Насыпная плотность - это масса единицы насыпного объема дисперсного материала. В насыпной объем, кроме объема самого твердого материала, входит объем пространства между частицами и пор. Иногда различают еще насыпную плотность при встряхивании, т. е. при наиболее плотной упаковке частиц.

Кажущаяся плотность - это масса частиц единицы объема с учетом объема закрытых в них пор.

Объемная плотность - масса единицы объема материала с учетом закрытых и открытых пор.

Электрические свойства пылей.

Удельное электрическое сопротивление (УЭС) определяют при прохождении через слой пыли электрического тока. Оно существенно влияет на работу электрофильтров и сильно зависит от температуры и влажности пыли. По этому параметру пыли разделяют на три группы:

низкоомные (УЭС < 10⁴ Ом·см),

высокоомные (УЭС > 10¹⁰ Ом·см),

среднеомные (УЭС от 10^4 до 10^{10} Ом·см).

Последние хорошо улавливаются электрофильтрами. Низкоомные пыли при осаждении на электродах мгновенно разряжаются; возможен их вторичный унос. Высокоомные пыли вызывают электрический пробой слоя пыли, что приводит к резкому снижению степени улавливания электрофильтра.

Положительным фактором для пылеочистки является коагуляция (агрегирование, агломерация) очень мелких частиц в более крупные образования, которые значительно быстрее отделяются в потоке газа. Коагуляция зависит от многих факторов: свойств материала пыли, концентрации и дисперсного состава частиц, в значительной степени о электрического заряда частиц.

Электрические свойства пылей используют для их коагуляции при осаждении в поле силы тяжести и центробежных сил, в электрофильтрах, а также при магнитных методах очистки.

В процессах переработки железосодержащих материалов пыли имеют сильные и слабые магнитные свойства. Для очистки газов от таких пылей могут быть использованы магнитные методы очистки.

Классификация методов пылеулавливания

Метод пылеулавливания выбирают в зависимости от физико-химических свойств пылей, анализ которых позволяет наиболее рационально выбрать метод пылеулавливания и его аппаратное оформление.

Методы пылеулавливания разделяют на две группы: газодинамические и электрические. К газодинамическим методам относят гравитационные, инерционные, центробежные, ротационные, фильтрационные и, струйные, к электрическим - электрофильтрационные и электромагнитные.

Методы пылеочистки разделяют также на сухие и мокрые. Сухие методы предпочтительнее, чем мокрые, однако в ряде случаев последние являются более эффективными. Смешанные методы пылеулавливания используют два и

более метода одновременно. Например, в циклонах одновременно используют гравитационный и центробежный методы.

2.2. Аппараты мокрой очистки газов

По способу действия мокрые аппараты можно разделить на следующие группы: 1) полые газопромыватели; 2) динамические газопромыватели (механические скрубберы; дезинтеграторы); 3) скоростные газопромыватели; 4) мокрые аппараты центробежного действия; 5) насадочные газопромыватели; 6) мокрые аппараты ударно-инерционного типа; 7) насадочные газопромыватели; 8) барботажные и пенные аппараты скоростные газопромыватели.

Полые газопромыватели

В полых газопромывателях запыленные газы пропускаются через завесу распыленной жидкости. При этом частицы пыли захватываются каплями жидкости и осаждаются, а очищенные газы удаляются из аппарата.

Промывные камеры

Промывную камеру сооружают из металла, железобетона или кирпича. Внутри камеры в несколько рядов, чаще всего в шахматном порядке размещают распылители-форсунки для создания водяных завес на пути очищаемого газового потока.

Полые форсуночные скрубберы

Полый форсуночный скруббер представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыляемой форсунками. По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости. Обычно применяются аппараты с противонаправленным движением газов и жидкости и реже с поперечным подводом жидкости, в которых жидкость вводится под прямым углом к направлению газового потока.

Насадочные газопромыватели

Насадочные скрубберы представляют собой колонны, заполненные телами различной формы. Насадку засыпают в колонну на опорную решетку в беспорядке или укладывают правильными рядами.

Насадочные скрубберы являлись весьма распространенным типом мокрого газоочистителя, но частое забивание насадки при обработке запыленных газов привело к резкому сокращению их применения в технике пылеулавливания. Насадочные колонны целесообразно применять только при улавливания хорошо смачиваемой пыли, особенно в тех случаях, когда процессы улавливания пыли сопровождаются охлаждением газов или абсорбцией.

Барботажные и пенные газоочистные аппараты

В барботажных аппаратах (барботерах) очищаемые газы проходят через слой жидкости в виде пузырьков, на поверхности которых и происходит осаждение частиц пыли. Эффективность подобных аппаратов достаточно велика при улавливании частиц размером больше 5 мкм. Вследствие невысокой производительности в настоящее время барботажные пылеуловители потеряли промышленное значение.

Пенные аппараты

Пенный способ очистки запыленных газов был впервые предложен и подробно исследован М. Е. Позиным с сотрудниками. Аппарат может работать со свободным; сливом пены или с подпором пены с помощью сливной перегородки (второй режим предпочтительнее).

В пылеуловителе обычно устанавливаются дырчатые тарелки с диаметром отверстий 3-8 мм и со свободным сечением от 0,15 до 0,25 м².

В настоящее время пенные пылеуловители с переливными тарелками в пылеулавливании практически вытеснены аппаратами с провальными тарелками.

Мокрые газоочистные аппараты ударно-инерционного действия

Наиболее простой по конструкции пылеуловитель ударно-инерционного действия и представляет собой вертикальную колонну, в нижней части которой находится слой жидкости.

Мокрые аппараты центробежного действия

Наиболее распространенные центробежные скрубберы можно разделить по конструкционному признаку на два вида: аппараты, в которых вращение газового потока осуществляется с помощью специальных направляющих лопаток, и аппараты с тангенциальным подводом газов. Орошение аппаратов первого типа может осуществляться форсунками, устанавливаемыми как в центральной части аппарата, так и вдоль его стенок.

Динамические газопромыватели

В динамических газопромывателях очищаемые газы приводятся в соприкосновение с жидкостью, разбрызгиваемой с помощью вращающегося тела (вала с лопастями, перфорированного барабана, дисков и т. п.).

2.3 Аппараты сухой очистки газов

В настоящее время существует много конструкций инерционных пыле- и золоуловителей. Их можно условно разделить на три группы: 1) аппараты, в которых преобладает прямоточное движение закрученного потока (прямоточные циклоны); 2) аппараты с преимущественно возвратным переносом закрученного потока (противоточные одиночные циклонные аппараты (ЦА) или батарейные циклоны (БЦ)) и 3) аппараты, в которых превалирует радиальный перенос закрученного потока к выводному каналу (вихревые камеры-осадители). До сих пор нет четких рекомендаций по выбору конкретных конструкций пылеотделителей в зависимости от условий эксплуатации, отсутствуют объяснения причин

снижения эффективности сепарации частиц при переходе от лабораторных к реальным производственным условиям.

Большое распространение получили аппараты с дополнительными (выносными) устройствами для осаждения, образующегося в них пылевого концентрата. Они компактны, позволяют размещать выносное устройство в удобном для выгрузки, уловленной пыли месте. В качестве выносного устройства чаще всего применяют противоточные циклоны с собственными приёмниками пыли.

Центробежные пылеуловители условно можно разделить на аппараты с повышенной транспортирующей способностью потока концентрата пыли, в которых транспортирующая скорость соизмерима с окружной скоростью потока и аппараты, в которых скорость транспортирования концентрата частиц к пылевыводному каналу много меньше окружной скорости потока.

На рисунке 2 представлен дымосос-пылеуловитель с очисткой газов в спиральной коробке, из которой концентрат пыли транспортируется в выносной противоточный циклон 8.

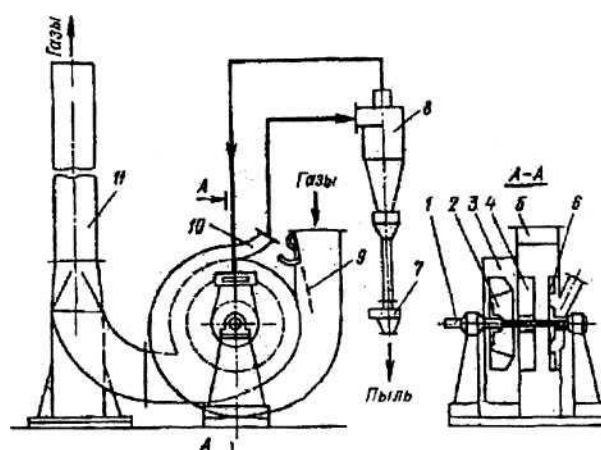


Рисунок 2. Дымосос-пылеуловитель

В этом циклоне пыль концентрируется у стенок и транспортируется в транзит-приемник, в котором образуется слой в виде

вертикального столба из частиц, проходящего через затвор непрерывной выгрузки и пополняющегося выделенными из потока частицами. Очищенный газ из циклона поступает в центр спирального короба и дополнительной крыльчаткой б перекачивается в сепарационный объем короба.

В прямоточных сепараторах закрутка проводится либо боковым (тангенциальным, улиточным) вводом, либо лопаточным. Концентрат пыли транспортируется газом к щели, сообщаемой с приемником. Пыль попадает в приемник через щель путем инерционного заброса крупных частиц при обтекании щели потоком или путем транспортирования частиц малой долей потока. На рисунке 3 представлена схема потоков в прямоточном пылеконцентраторе.

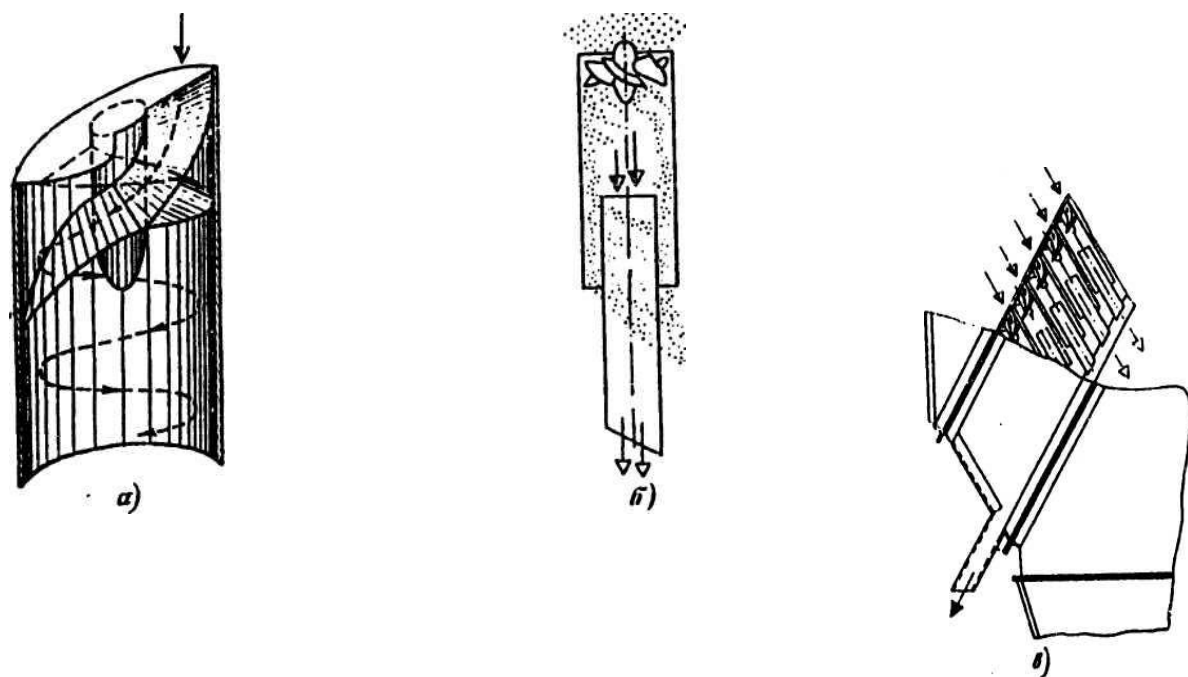


Рисунок 3. Схема потоков в прямоточном пылеконцентраторе

Очищенный поток выходит в центральный патрубок. При малых крутках потока окружная компонента скорости на оси равна нулю. Она увеличивается с увеличением радиуса до максимального значения и далее незначительно уменьшается. Осевая компонента также деформирована

незначительно. При сильных крутках основной поток движется в периферийной области. За счет эжекционных эффектов формируется обратный кольцевой поток, который разворачивается в сторону газывыводящего патрубка, в приосевой области также возникают возвратные течения.

ПЩ используются также в качестве делителей - концентраторов пыли, устанавливаемых в напорном тракте мельниц, где концентрат пыли через закручиватели распределяется по горелкам.

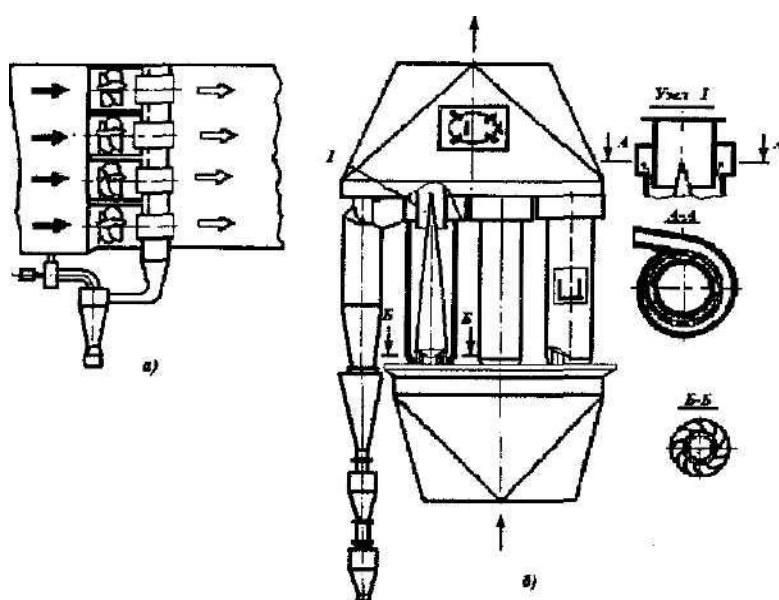


Рисунок 4. Блок прямоточных пылеконцентраторов с выносным ЦИКЛОНОМ

Таблица № 1

Фракционная эффективность пылеулавливания в процентах при различных величинах отвода пылеконцентрата

Диаметр частиц, мкм		10	20	30
Относительная величина отсоса, %	0	3	17	30
	4	20	70	92
	6	27	80	98
	8	40	85	99

Попытка использовать циклонные аппараты для очистки газов больших объемов от тонкодисперсных пылей привела к созданию групповых и батарейных газоочистителей (Рисунок 5,6).

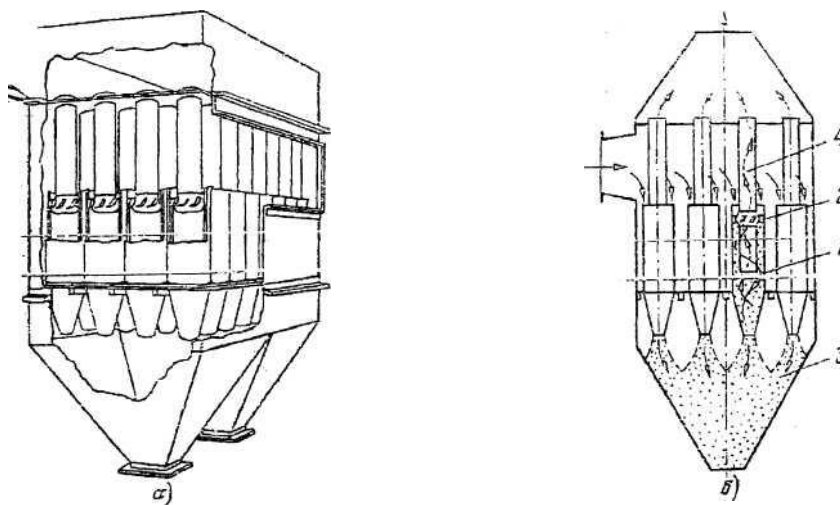


Рисунок 5. Батарейный циклон

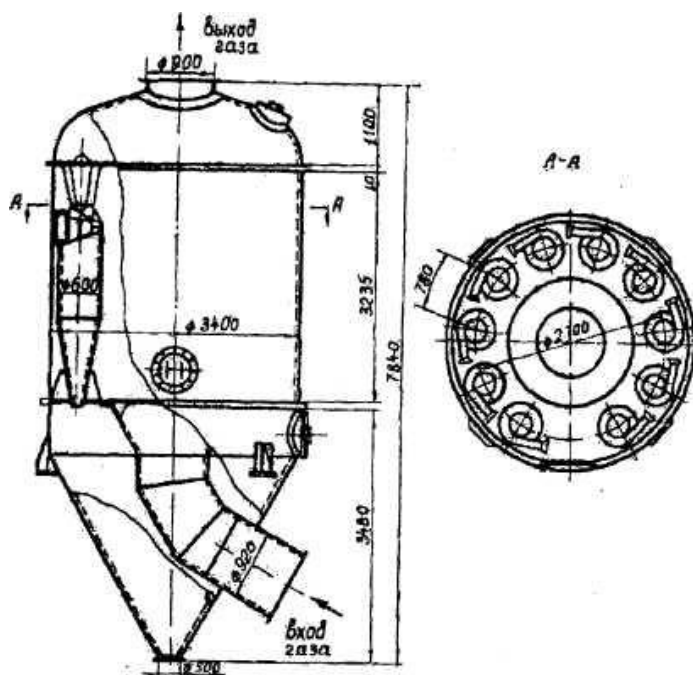


Рисунок 6. Групповой циклон

Выделяют несколько методов оценки разделения частиц по размерам и степени обеспыливания: 1) метод траекторий частиц, по которому определяется положение частицы в сепарационном пространстве относительно выходного сечения аппарата; 2) метод, основанный на стохастической модели, который рассматривает движение частиц как случайный процесс, на который накладывается воздействие детерминированного характера, и 3) модель турбулентного переноса, к которой в некоторых случаях можно свести стохастическую модель.

В соответствии с существующими гипотезами процесса сепарации по методу траекторий были разработаны и нашли широкое применение для очистки газов в 40-х годах циклоны ЛИОТ с длинной цилиндрической частью и погружной газовыводной трубой. В коаксиальном канале аэрозоль совершает несколько оборотов (витков), частицы подвергаются воздействию инерционных сил продолжительное время, по истечению которого, предполагалось, мелкие частицы выходят из потока. Однако опыт эксплуатации этих циклонов и дальнейшие эксперименты не подтвердили эти гипотезы и последующие усовершенствования циклонов, их конструктивное исполнение, в зависимости от решаемых задач, осуществлялось на основе других гипотез сепарации частиц или экспериментальным путем. Метод траекторий дает удовлетворительные результаты для крупных частиц, для мелких необходимо учитывать турбулентный перенос частиц.

В практике широкое распространение получил метод оценки фракционной эффективности сепарации с использованием интеграла вероятности случайной величины, которая представляет отношение двух логарифмов переменных. Первый логарифм есть отношение текущего размера частицы к размеру частицы, улавливаемой с эффективностью 50 %, другой логарифм дисперсии представляет стандартное отклонение случайной величины в распределении парциальных коэффициентов очистки.

Величины пятидесятипроцентного размера частицы и дисперсии определяются экспериментально.

Любой аппарат для осуществления физико-химических процессов является аппаратом, в котором происходит преобразование структуры потока с соответствующими затратами энергии на проведение этого преобразования. В пылеотделителях с криволинейным движением потока происходят качественные изменения структуры потока: значительный градиент давлений в поперечном сечении аппарата, а в циклонах избыточное давление положительно на периферии и отрицательно на оси, поле скоростей, например, в циклонах, существенно неоднородно не только вблизи стенки, но и в объеме.

Течение газовзвеси турбулентно. Турбулентное движение сопровождается генерацией и распадами вихрей разного масштаба. Это движение представляет смену структур турбулентных образований в каждый момент времени. Для дисперсной фазы в ядре потока турбулентный перенос представляет колебания мгновенных концентраций и относительных скоростей газа и частиц. Вблизи ограждающей криволинейной поверхности, в пристенной зоне, происходит накапливание частиц, возможно их взаимодействие и структурообразование. В литературе имеются разрозненные сведения по этим вопросам. Определяющее значение имеет величина отношения скорости частицы относительно газа по сравнению со скоростью рассеяния.

3. Техническое описание системы обеспыливания газов на Беловской ГРЭС.

3.1. Описание котла ПК-40-1

Прямоточный котлоагрегат ПК-40-1 производительностью 640т/час. на давление 140 ата и перегрев 545⁰С с промперегревом 545⁰С предназначен для работы в блоке с турбогенератором мощностью 200 МВт.

Котел предназначен для сжигания углей гидродобычи и промпродукта обогащения кузнецких углей с теплотворной способностью 5850 ккал/кг, а также углей Колмогоровского разреза с теплотворной способностью 4310 ккал/кг.

Проведённые ВТИ анализы проб указанных топлив показали возможность сжигания их в котлах с жидким шлакоудалением. В связи с этим, по согласованию с заказчиком, котёл ПК-40-1 изготовлен с холодной воронкой для жидкого шлакоудаления.

Принципиальным отличием котла ПК-40-1 от ранее выпущенного заводом котла ПК-40 является двухкорпусное симметричное исполнение его вместо несимметричного двухкорпусного с расположением промежуточного перегревателя в одном из корпусов с регулированием температуры перегрева путём изменения количества топлива, сжигаемого в корпусе. В котле ПК-40-1 оба корпуса состоят из одинаковых поверхностей нагрева, и температура промперегрева регулируется с помощью вынесенного парового теплообменника.

Жидкий шлак через летку поступает в шлаковую ванну, заполненную водой. Гранулированный шлак подаётся шлаковым шнеком на решётку и в общий канал ГЗУ, проходящий вдоль котельного отделения. Растопка котла предусмотрена на мазуте. Паровые форсунки установлены внутри горелок по вторичному воздуху в количестве 6 шт. на корпус.

Сброс запыленного сушильного агента из системы пылеприготовления производится в топку через 4 горелки на каждом корпусе на фронтowych стенках.

На каждом корпусе имеется отсос газов из холодной воронки в газоход перед скрубберами для прогрева пода и летки во время растопки перед переходом на сжигание угольной пыли и при плохом выходе шлака.

Таблица 2

Эксплуатационные параметры котла ПК-40-1

	Наименование	Парам
	Расход острого пара	320т
	Давление перегретого пара	130
	Давление питательной воды	175
	Температура питательной воды	240°
	Температура перегретого пара	545°
	Температура уходящих газов	140°
	Объём кислорода в уходящих	6,8
	Расход вторичного пара	280
	Давление вторичного пара на	21
	Давление вторичного пара на	20ат
	Температура вторичного пара	320
	Температура вторичного пара	545°
	Остаток на сите R-90	35
	Влажность угля рабочая	14,97
	Зольность угля рабочая	17,5
	Выход летучих	42,51
	Низшая теплотворная	4935
	Содержание горючих в уносе	3,61

3.2. Общая система пылеприготовления

Задачей пылеприготовительных установок является получение сухого порошка (пыли) с размером зерен 0—250, 0—500 микрон. Для достижения подобной тонкости помола и нужной степени подсушки топливо подвергается механической и термической обработке, проходя в известной последовательности ряд операций. Количество и сложность этих операций зависят от сорта топлива.

Топлива, поступающие в пылеприготовительные установки, грубо можно разбить на сухие и влажные. Сухие топлива хорошо текучи и не вызывают явлений замазывания или потерь сыпучести при транспорте и дроблении. Эти топлива не требуют специальной сушки до размола.

Влажные топлива склонны к замазыванию, потере сыпучести и смерзанию. Эти топлива требуют перед размолем предварительной подсушки в специальных аппаратах.

Технологическая схема приготовления пыли влажных топлив является наиболее сложной. Она включает все операции, обязательные также и для сухих углей.

Операции, связанные с получением сухой и тонкой пыли, могут быть разбиты на две части:

подготовка сырого топлива, имеющая целью подать к мелющим агрегатам сырой материал с определенным размером кусков, очищенный от металла и щепы;

пылеприготовление, включающее отделение колчедана, сушку материала и измельчение (размол) до нужной тонкости.

Подготовка сырого топлива включает предварительное измельчение топлива до размера 200 мм (машинное или ручное), отделение металла, среднее или тонкое дробление с одновременным грохочением угля и отделение щепы. В процессе подготовки производится также отбор пробы сырого топлива.

Предварительное измельчение топлива. При использовании несортированных углей размер кусков достигает 250—300 мм. При добыче бурых углей открытым способом величина кусков доходит до 600—800 мм. Так как дробилки среднего и тонкого дробления приспособлены для измельчения кусков менее 200 мм, то при поступлении с углем кусков размером 250—300 мм в количестве, не превышающем 2—3% от общей массы, обычно их дробят вручную (стальными кувалдами) на бункерных решетках в разгрузочном сарае. Размеры отверстий решеток применяются 150—200 мм.

При поступлении на станцию плит величиной 600—800 мм предварительное их измельчение осуществляется в особых дробилках, доводящих размер кусков до 200 мм.

Отделение металла от угля. Под этой операцией имеется в виду отбор с помощью магнитных сепараторов различных стальных деталей, которые попадают в топливо при его добыче (болты, ганки, зубья врубовых машин, различный стальной лом и т. п.). Подобное улавливание металла повышает надежность работы дробилок и мельниц.

Цветной металл магнитными сепараторами не улавливается. Однако, так как попадание его в уголь крайне редко, для его отделения не принимается специальных мер.

Грохочение и тонкое дробление. Уголь, раздробленный до 200 мм, обычно подается на молотковые дробилки, измельчающие его до 0-25 или 0-15 мм. Для повышения производительности дробилок и увеличения их надежности, а также сокращения расхода энергии на измельчение перед дробилками устанавливаются грохоты, выделяющие готовую мелочь из угля и не допускающие поступления ее в дробилки. Конечные размеры дробленого продукта зависят от влажности угля и типа размольных машин. При сухом угле и размоле его в молотковых дробилках может быть обеспечено поступление в мельницы кусков не более 15 мм. При влажном угле во избежание замазывания дробилок конечный размер кусков иногда

доводят до 20-25 мм. С точки зрения экономии энергии при превращении топлива в порошок выгодно производить более тонкое дробление. Последнее является также обязательным при наличии в системе пылеприготовления подсушки угля во взвешенном состоянии.

Отделение щепы. При добыче угля последний засоряется обрезками дерева. При превращении топлива в порошок примесь древесины мешает работе мелющих агрегатов. Помимо того, измельченное дерево в виде волокон попадает в угольную пыль и в значительной мере нарушает работу пылепитателей. Крупная щепа является также серьезной помехой в работе дисковых питателей сырого угля. Поэтому предварительное отделение щепы является необходимой операцией. Она обычно предусматривается после измельчения угля в молотковых дробилках.

Взвешивание топлива и отбор пробы. После окончательного дробления топливо направляют в котельную и по пути взвешивается на автоматических весах, устанавливаемых на ленточных транспортерах. С этих же транспортеров производится отбор проб угля для анализа. Отбор проб топлива и разделка их перед поступлением в лабораторию механизированы. Взвешивание топлива и контроль за качеством его необходимы для учета работы установки.

Пройдя указанные пять операций по «подготовке сырого угля», топливо, измельченное до нужного размера, очищенное от магнитного металла и щепы, поступает на дальнейшую обработку и подвергается сушке и размолу с одновременным отделением колчедана, если последний примешан к топливу в достаточно большом количестве (3% и выше).

Сушка. При термической обработке топлива (сушке) влажность его доводится примерно до воздушно-сухого состояния. Подобное понижение влажности благоприятно отражается на размолу и сжигании топлива, а также позволяет избежать затруднений при хранении и транспортировании пыли. Сушке подвергаются все виды углей, подлежащих размолу. Однако если сухие угли удовлетворительно подсушиваются в мельничных устройствах, то

при использовании влажных углей в системах пылеприготовления приходится перед мельницей предусматривать специальные устройства, в которых топливо предварительно доводится до некоторой промежуточной влажности. Получение пыли с окончательной влажностью осуществляется за счет досушки топлива в процессе размол в мельнице. Предвключенные сушильные приспособления применяются для углей, внешняя влажность которых больше 10—20% (под внешней влажностью подразумевается влага, находящаяся в топливе сверх воздушно-сухой).

Отделение колчедана. При применении сушки во взвешенном состоянии в трубах-сушилках или в пневмомельницах часть колчедана выделяется в колчеданных мешках этих устройств. При отсутствии таких мешков, как это имеет место в шахтных и других мельницах, рекомендуется установка специальных колчеданных уловителей. Снижение количества колчедана в топливе облегчает его размол и уменьшает опасность шлакования топочных устройств.

Размол. Процесс превращения грубо измельченного и подсушенного топлива в порошкообразное состояние называется размолом. Качественно размол одинаков с дроблением. Однако если при дроблении размер начального куска сокращается в 5—20 раз, то при помоле кратность уменьшения зерен достигает 100—200 (уменьшение размера куска с 15—25 мм до величины 0,1—0,2 мм).

Сжигание. Сухая и тонкая угольная пыль подается в топочную камеру и сжигается в факельном процессе. Эта результирующая операция протекает с большой интенсивностью и высокой экономичностью.

Как было указано, вся совокупность процессов полностью применяется только для несортированных углей, имеющих большой начальный размер кусков, засоренных деревом, колчеданом и сильно влажных.

Например, при поступлении на установку сухого, предварительно раздробленного на шахтах топлива и не содержащего примесей колчедана (например, АРШ с размером кусков 0—100 мм) исключаются

предварительное измельчение и отделение колчедана. Сушка полностью совмещается с размолом.

Для штыба, крупные размеры кусков в котором случайны, из схемы исключаются все процессы дробления. Грохочение с выделением класса выше 20 мм может быть оставлено в целях классификации топлива, некоторой очистки его от щепы и металла, а также получения угля с размером кусков более 25 мм, используемого для хозяйственных нужд установки.

Котлоагрегат ПК-40-1 оборудован двумя пыле системами с промежуточными бункерами. Из бункера сырого угля топливо подается ПСУ (питатели сырого угля) в горловину мельницы "ШМБ-50", сюда же подается горячий воздух с температурой 280-300°C и инертные газы. Размол топлива происходит внутри барабана шаровой барабанной мельницы стальными шарами величиной 40-50 мм. Образовавшаяся пылевоздушная смесь из мельницы по вертикальной трубе мельничным вентилятором всасывается в сепаратор угольной пыли.

Система пылеприготовления работает под разрежением. Сепаратор состоит из двух вставленных один в другой стальных конусов. Пылевоздушный поток подходит к сепаратору со скоростью 15-20 м/с, здесь скорость потока снижается до 5-6 м/с. В результате крупные частицы топлива выпадают и возвращаются в мельницу. Далее пылевоздушный поток по кольцевой полости поднимается вверх и проходит по окнам внутрь конуса. Эти окна образованы тангенциально расположенными лопатками. Проходя через лопатки, поток закручивается, под действием центробежных сил, крупные частицы отделяются и падают в сборник недомолотой пыли внешнего конуса и снова в мельницу. Аэрозоль с мелкой пылью поступает через патрубок в циклон, где происходит отделение пыли от воздуха. В циклоне удавляется 85-90% пыли, оставшая часть 10-15% пыли вводится в топку.

Из бункера пыль пыле питателями подается в пыле провода, по

которым она вдувается воздухом в топку котла, горячим воздухом от ВГД или холодным воздухом от турбовоздушного компрессора (по схеме ПВК).

Сгорание топлива осуществляется факельным способом в топочной камере.

Таблица 3

Эксплуатационные параметры мельницы типа ШБМ

№ п/п	Наименование величин	Размерность	Величина
1	Шаровая загрузка	т	50
2	Тонина готовой пыли (90мкн)	%	30
3	Разряжение перед мельницей	кг/м ²	30
4	Сопротивление барабана	кг/м ²	300
5	Температура аэросмеси на мельнице	%	до 90
6	Содержание O ₂ в конце пылесистем	%	до 16

3.3. Система газоочистки

Золоуловители МВ — мокрого типа, предназначены для очистки от золы уходящих дымовых газов при сжигании твердого топлива с содержанием в золе окиси кальция — не более 10%. Для кузнецких углей — содержание в золе окиси кальция 5 — 7%. Золоуловитель МВ представляет собой сочетание двух основных элементов: ТВ (труба «Вентури») и СЦ (скруббер центробежный) последовательно соединенных по ходу очищаемых дымовых газов.

Внутренняя поверхность аппарата во избежание эрозионного и коррозионного износа покрыта защитой, выполняемой на базе

футеровочной плитки. Швы между плитками разделяются замазкой арзамит.

В качестве орошающей жидкости в мокрых пылеуловителях чаще всего применяют воду. В целях уменьшения количества отработанной жидкости при работе мокрых пылеуловителей применяют замкнутую систему орошения.

Труба «Вентури» служит для коагуляции (укрупнения) золовых частиц и состоит из трех частей: конфузора, горловины, диффузора. Для орошения ТВ служит форсуночное устройство, основным элементом которого является центробежная механическая форсунка, установленная перед ТВ. Сопловое отверстие форсунки направлено в сторону ТВ, по ходу дымовых газов. На рисунке 11 представлена схема золоулавливания.

Центробежный скруббер служит для выделения из потока дымовых газов капель с осевшими на них золовыми частицами, а также частичного улавливания из газа золовых частиц, неосевших на каплях в ТВ. ЦС — с тангенциальным вводом газа и пленочным орошением.

Принцип действия ЗУ типа МВ основан на улавливании скоагулированных золовых частиц на каплях орошающей воды, распыленной в ТВ, а также крупнофракционных нескоагулированных золовых частиц в СЦ. Запыленные дымовые газы поступают в ТВ, в конфузоре которой орошаются водой и ускоряются до 60—70 м/с.

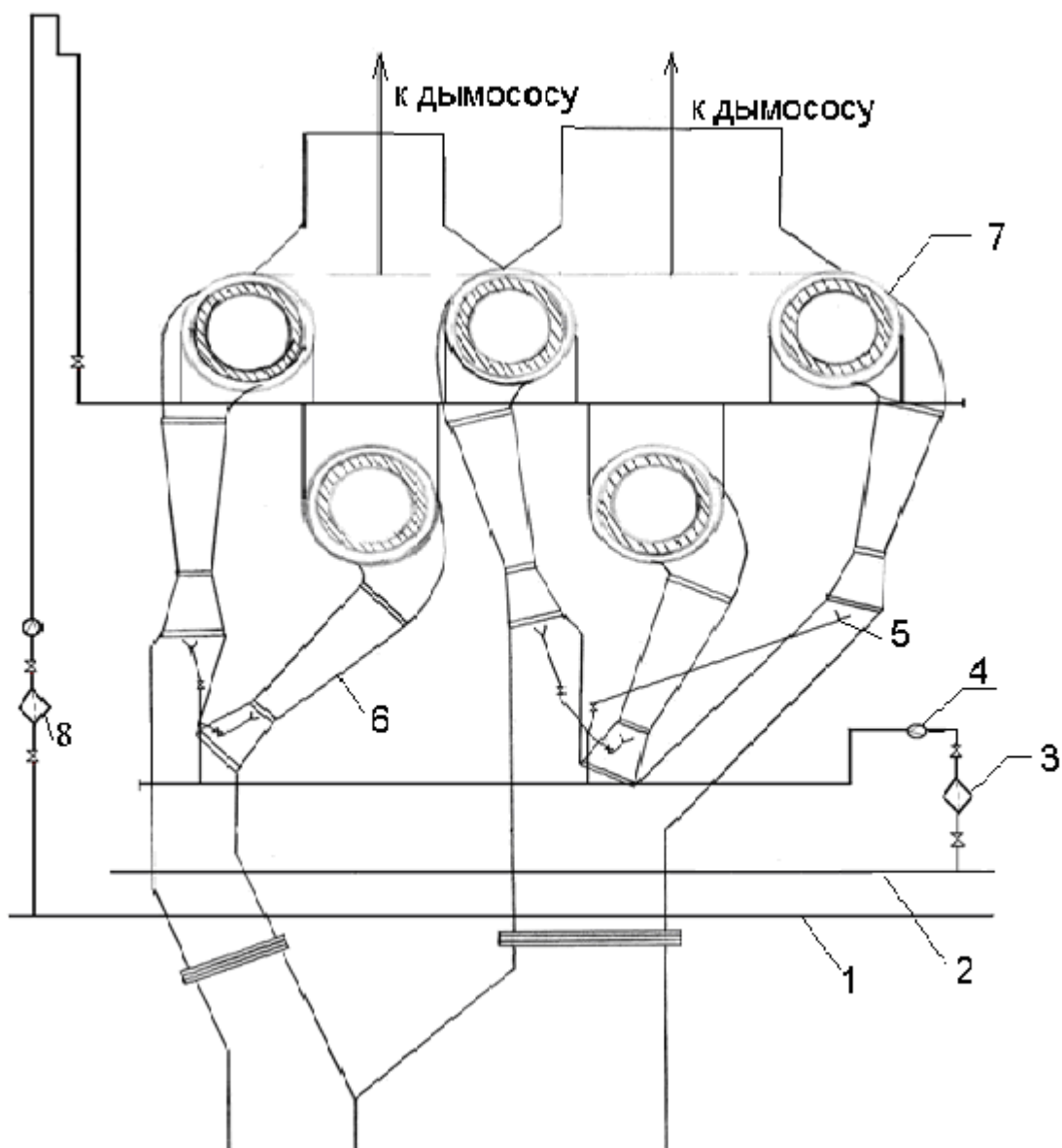


Рисунок 7. Схема золоулавливания на Беловской ГРЭС

1 – коллектор орошающей воды; 2 – коллектор смывной воды; 3 – фильтр труб Вентури; 4 – расходомер; 5 – сопла труб Вентури; 6 – труба Вентури; 7 – скруббер центробежный; 8 – фильтр орошения скрубберов.

Капли орошающей воды, распыленной в конфузоре ТВ, дробятся в горловине скоростным газовым потоком до среднего диаметра 140—21 мкм и ускоряются. В связи с тем, что плотность воды значительно выше плотности газа, капли воды приобретают в конфузоре и

горловине ТВ меньшую (на 15—22 м/с), чем газ, скорость, вследствие чего происходит фильтрация запыленного газового потока через движущийся водяной мелкозернистый фильтр, на зернах (каплях) которого происходит инерционное осаждение золowych частиц, содержащихся в газе.

Выделение скоагулированных и крупнофракционных неосевших на каплях в ТВ золowych частиц осуществляется в СЦ за счет тангенциального ввода газов, вызывающего его закручивание и инерционное осаждение частиц на смоченной внутренней поверхности. Уловленные золowych частицы смываются с внутренней поверхности СЦ орошающей водой в смывной патрубков и через гидрозатвор удаляются в канал ГЗУ.

Золоулавливающая установка корпуса, котла ПК-40-1 состоит из 5 труб «Вентури» и 5 центробежных скрубберов — типа МВ—УООРГРЭС, включенных параллельно по ходу газа и объединенных общей системой орошения, строительными конструкциями и контрольно-измерительными приборами.

Вода на сопла подается от коллектора смывной или орошающей воды.

Технические данные золоуловителя типа МВ-УООРГРЭС.

1. Производительность по газу — 120000 куб.м/час.
2. Диаметр СЦ (в свету) — 3300 мм.
3. Диаметр горловины ТВ — 790—820 мм.
4. Температура газа перед золоуловителем не ниже 130°C.
5. То же после установки 70—75°C.
6. Аэродинамическое сопротивление золоуловителя 5,9—9,8 кПа (60—100 мм вод.ст.).
7. Удельный расход воды на орошение 1 куб. м газа в ТВ при нормальных условиях 0,13—0,19 л/куб, м.

8. Расход воды на орошение каплеуловителей (СЦ) 28—40 куб. м/час.
9. Давление воды перед соплами скрубберов 0,1—0,15 атн
10. Скорость дымовых газов в горловине трубы «Вентури» — 60—70 м/сек.
11. Установленный ресурс до капитального ремонта 43800 час.
12. Установленный срок службы не менее 10 лет.
13. Степень очистки 94—97,5%.

Средства измерения включают приборы для измерения:

- расхода воды на орошение ТВ;
- расхода воды на орошение СЦ;
- аэродинамического сопротивления З.У.;
- температуры очищенных газов;
- давления воды до и после гравийных фильтров, перед форсункой и в коллекторе орошения СЦ.

Механическое непрерывное шлакоудаление

Котел ПК-40-1 предназначен для работы с жидким шлакоудалением. Топочные камеры каждого корпуса имеют внизу четырехскатные топочные воронки с наклоном всех скатов к горизонту $57^{\circ}12''$ и поды для жидкого шлакоудаления, выполненные из панелей, имеющих уклон к центральной летке 7° .

Площадь пода 25 кв. м, отверстия летки 700x700 мм. Жидкий шлак через летку попадает в шлаковую шахту, нижним концом опущенную в воду (гидравлический затвор), заполняющую ванну шлакового шнека. Гранулированный шлак подается шлакошнеком на решетку, после которой попадает в общий канал ГЗУ.

Объем воды в шлаковой ванне 3 куб. м. Расход воды на шлаковую ванну для охлаждения шлака около 5 т/час. Заполняется шлаковая ванна перед растопкой котла после удаления из нее

посторонних предметов. Шлаковый шнек включается по указанию машиниста перед зажиганием мазута. Перед включением шлакового шнека проверить наличие смазки в подшипниках и масло в редукторе шлакошнека, подать воду на уплотнение сальника.

Имеется отсос газов из холодной воронки в подшахтный бункер котла для разогрева пода перед переходом на сжигание угольной пыли, а также для аварийных случаев, когда наблюдается застывание шлака в шахте и его наросты.

Причины застывания шлака и летки могут быть следующие:

1. Свищ в нижней части топки.
2. Работают не все горелки нижнего яруса.
3. Присосы по шахте и шлаковой ванне.
4. Низкая паровая нагрузка на котле.

5. При низком уровне воды в шлаковой ванне не выдерживается гидрозатвор. При малом расходе воды на шлаковую ванну и большом шлаковыведении (при сжигании углей с большим содержанием золы) возможно выкипание воды, в результате чего шлаковую ванну может залить неостывшим шлаком. При осмотре и расшлаковке шлаковой летки и ванны необходимо соблюдать осторожность, т. к. возможны выбросы горячих газов из топки котла.

Расшлаковка и осмотр летки производится только в очках или в щитках.

При большом содержании соединений железа в жидком шлаке при соприкосновении его с водой образуется гремучий газ, его образование сопровождается взрывом. С жидким шлаком удаляется 20—30% всех примесей в угле, сжигаемом в котле, остальные 70—80% примесей угля уносятся золой.

Смывные насосы

В систему ГЗУ входят 4 насоса смывной воды типа ЗБ-200-2

производительностью 500 куб. м/час при создаваемом напоре 9,8 кг/кв. см, 1450 об/мин. № 160 квт, из которых три насоса являются рабочими, а один резервным.

Смывные насосы служат для подачи воды на побудительные сопла с давлением 8—7,5 ати для транспортировки шлака и золы по самотечным каналам до приемных колодцев багерных насосов. Смывная вода используется также для уплотнения сальников шлакошнеков, для аварийного смыва пыли из-под картера пылепитателей, для форсунок в трубах «Вентури», для водяного эжектора в приемке багерной насосной. Забор воды смывным насосом № 4 осуществляется от 5 секции коллектора технической воды.

Забор воды смывными насосами 1, 2, 3 осуществляется из трубопровода возврата с золоотвала и из приемка ГЗУ, который связан двумя трубопроводами со сбросным каналом.

Ось насосов приемка ГЗУ находится ниже уровня воды заборного приемка, поэтому перед их включением в работу необходимо предварительно заполнить всасывающий трубопровод и корпус насоса водой.

На всасе насосов установлены обратные клапаны, которые предотвращают пропуск воды в приемок в момент заполнения насоса. Для заполнения насоса во всасывающий трубопровод врезана линия от смывной и орошающей воды и воздушник в корпусе насоса.

При подаче воды на заполнение воздух из всасывающего трубопровода вытесняется через воздушник и при появлении сплошной струи воды с воздушника пускается насос, предварительно закрывается воздушник, затем вода на заполнение.

Насосы технической воды

В систему ГЗУ входят 2 насоса технической воды типа 8 НДВ-60 производительностью 614 куб. м/час при создаваемом напоре 8,6 кгс/кв.

см 1480 об/мин, мощностью 205 квт, КПД — 75%.

Насосы технической воды предназначены для поддержания давления в коллекторе смывной воды, забор воды на всас технических насосов осуществляется от коллектора орошающей воды. Насосы технической воды центробежные одноколесные горизонтальные предназначены для перекачки чистой воды. Корпуса насосов спиральные с двухсторонним подводом воды к рабочим колесам и разъемом в горизонтальной плоскости. В нижней части корпуса расположены всасывающие и напорные патрубки. Валы насосов стальные, вращаются на двух шарикоподшипниковых опорах. Соединение насосов с электродвигателями осуществляется через упругую муфту. Рабочие колеса чугунные, насажены на вал на шпонке и укреплены чугунными проставками и втулками. Благодаря двухстороннему подводу воды к колесу гидравлические осевые усилия, появляющиеся в роторе, воспринимаются шарикоподшипниками на свободных концах вала. Защитные втулки вала, уплотняющие кольца легко сменяемые, сальники разъемные, с хлопчатобумажной набивкой и с водяным уплотнением.

Для смазки подшипников применяется густая смазка — солидол или тавот. Температура подшипников насоса не должна превышать 70°C.

Наблюдаются срывы насоса, основными причинами их могут быть:

1. Низкое давление в коллекторе возврата с золоотвала.
2. Низкий уровень воды в приемке ГЗУ.
3. Присосы воздуха через сальники насоса или трещины во всасывающем трубопроводе,
4. Коатковременная потеря напряжения на электрическом двигателе насоса.
5. Резкое увеличение или резкое сокращение расхода смывной воды.

Смывной насос должен быть немедленно отключен:

1. Если температура подшипника превышает 70°C и невозможно установить его нагрев.
2. При выявлении сильной вибрации.
2. В случае сильного нагрева обмотки статора электродвигателя или ненормального шума в нем.
3. При появлении ненормального шума в насосе.
4. При срыве насоса (давление на напоре нуль).

Не допускается длительная работа насоса, если перегружен электродвигатель (на амперметре допустимые токовые нагрузки показаны красной чертой).

Орошающие насосы

Орошающие насосы типа 14-НДС, эл. двиг. 160 квт, 980 об/мин, в количестве трех предназначены для подачи воды на орошение золоуловителей, а также для заполнения ванн шлаковых шнеков.

Насосы № 1, 2 установлены в приемке ГЗУ, № 3 установлен на отм. 0,00 в районе грузового лифта № 1. Забор воды насосов орошения скрубберов осуществляется из трубопровода возврата с золоотвала, а также с приемки ГЗУ. Забор воды НОС № 3 может быть осуществлен от напорных циркуловодов 1«Б» и 2«А». Насосы орошения скрубберов № 1, 2, 3 производительностью 1260 куб. м/час. при напоре 4 кг/кв. см.

Обслуживание насосов орошения аналогично обслуживанию насосов смывной воды.

Шлаковые каналы

Для транспортировки гидрозолошлаковой смеси от котлов до багерной насосной проложены каналы. Каналы выполняются с уклоном в сторону багерной. Уклон выдерживается 2—2,5% для шлакового канала и 1,5% для золowego канала. В целях предохранения канала от истирания в нижней части они покрыты базальтовыми плитами,

имеющими гладкую поверхность.

Для обеспечения нормального движения золошлаковой смеси по каналу вдоль него устанавливаются побудительные сопла диаметром 8 мм через каждые 5—7 м. Давление перед соплами создается смывными насосами. При давлении 7—8 ати скорость движения пульпы 3—4 м/сек. Побудительные сопла устанавливаются по оси канала с наклоном осей сопел на 10—15°. Высота от дна канала до сопла 250—300 мм.

Сопла применяются съемные, при износе заменяются. Для безопасной работы в зольном помещении, предохранения каналов от попадания в них посторонних предметов, кусков металла, каналы по всей длине заподлицо с полом прикрываются решетками на шарнирах. Концы труб, заведенных в канал, должны иметь гиб в сторону движения золошлаковой смеси.

Для производства мокрой уборки пол, в котельной в зоне расположения каналов должен быть гладким и иметь уклон в сторону канала не менее 1:250.

За состоянием каналов, защитных покрытий и сопел ведет постоянное наблюдение дежурный персонал.

Основные причины забивания каналов:

1. Попадание посторонних предметов.
2. Нарушение облицовки канала.
3. Износ побудительных сопел или забитие сопел.
4. Низкое давление смывной воды.
5. Большое шлаковыделение при сжигании угля с большим содержанием золы.

Багерная насосная

Багерная насосная сооружена ниже отметки земли. Над землей выступает часть здания, высота которого определяется необходимостью установки мостового крана для обслуживания насосной.

Высота заглубления зависит от длины канала от котлов до багерной насосной. На каждые 100 м длины канала заглубление составляет около 2 м. Золошлаковая смесь попадает из канала в приемный колодец с отсекающей шандорой. Перед колодцем установлена металлическая решетка для улавливания крупных и тяжелых предметов. Багерные насосы расположены на отметке —8м и соединены с приемными колодцами всасывающим патрубком.

От багерных насосов начинается внешний золопровод, который в пределах помещения имеет подъемный участок до уровня земли. Шесть багерных насосов типа 12ГР-8Т производительностью 1250 куб. м/час и с напором 71 м. вод. ст. работают на три золопровода: багерные насосы № 1, 2 на золопровод № 1, багерные насосы № 3, 4 на золопровод № 2 и багерные насосы № 5, 6 на золопровод № 3. Давление, создаваемое двумя насосами, при работе на золопровод составляет 6—7 ати.

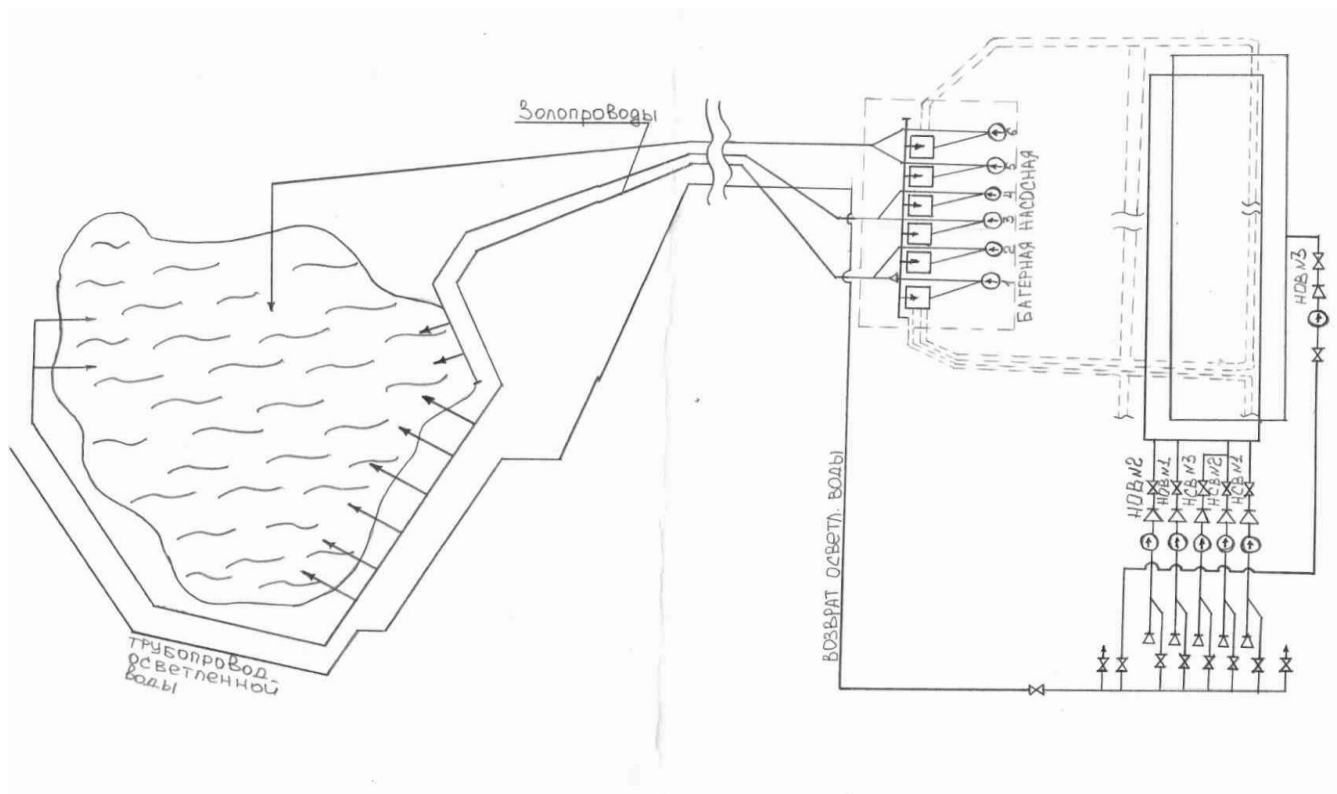


Рисунок 8. Схема внешней системы ГЗУ

Насосы уплотняющей воды предназначены для подачи воды на лобовины и сальниковые камеры багерных насосов, предотвращающих интенсивный износ лобовин и сальниковых втулок золошлаковой пульпой.

Давление, создаваемое насосом уплотняющей воды, составляет 10—12 кгс/кв. см.

4. Разработка технического решения системы обеспыливания газов на Беловской ГРЭС

4.1. Опыт перевода котлов на сухую газоочистку

При улавливании золы фрезерного торфа применение широко известных мокрых методов очистки газа в скрубберах МП-ВТИ связано со значительными трудностями. При содержании в золе более 15% окиси кальция стенки аппарата, прутковые решетки и гидрозатворы быстро покрываются известью, в результате резко повышается гидравлическое сопротивление, и через 2,5—3 месяца котельный агрегат приходится останавливать для очистки скрубберов. За счет простоев котельного агрегата и затрат на очистку, которая практически не поддается механизации, увеличивается себестоимость вырабатываемого пара.

Использование же электрофильтров для улавливания золы затруднено в связи с возможностью взрыва торфяной пыли, которая может попасть в аппарат при расстройстве топочного процесса. В этих условиях весьма перспективным следует считать использование циклонных пылеуловителей, тем более что многолетний опыт использования батарейных циклонов БЦ-250 на Ивановской ГРЭС, работающей на фрезерном торфе, подтвердил безопасность и рентабельность этого метода очистки. Однако вследствие перетока газов между циклонными элементами батарейные циклоны типа БЦ-250 обеспечивают недостаточную эффективность очистки. Другим недостатком является довольно быстрый износ закручивающих розеток.

В целях повышения коэффициента очистки и эксплуатационной надежности аппаратов в Семибратовском филиале НИИОГАЗ был разработан батарейный циклон с частичным отсосом и рециркуляцией потока БЦРН (рисунок 9).

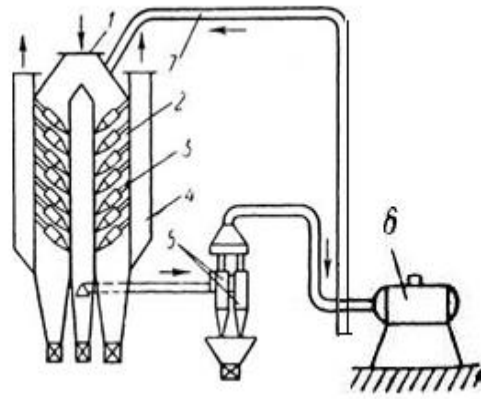


Рисунок 9. Схема батарейного циклона БЦРН

1 – концентратор; 2 – раздающие камеры; 3 – циклонный элемент; 4 – собирающая камера; 5 – групповой циклон системы рециркуляции; 6 – дымосос системы рециркуляции; 7 – газоходы.

Аппарат состоит из концентратора 1, представляющего собой блок циклонных элементов, группового циклона 5, в котором улавливается отсасываемая из циклонных элементов зола, вспомогательного дымососа 6 и газоходов системы рециркуляции 7. Раздающая камера концентратора 2, циклонные элементы 3, камера очищенного газа 4 и линия к дымососу составляют первый, открытый контур, в котором движется газ. Концентрированная газопылевая смесь движется во втором, замкнутом контуре: из золоспускной камеры через групповой циклон, вспомогательный дымосос в раздающую камеру.

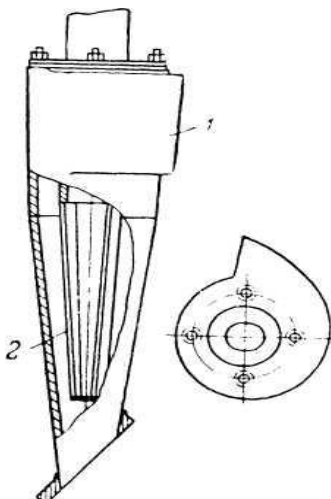


Рисунок 10. Циклонный элемент с раскручивателем

1-корпус; 2-выхлопная труба с раскручивателем.

Длительные промышленные испытания опытной секции показали, что в процессе эксплуатации периодическое отключение системы рециркуляции допускается. Положительные

результаты промышленных испытаний отдельной секции батарейного циклона явились основанием для установки на котле ПК-20-2 Ярославской ТЭЦ-1 двух аппаратов типа БЦРН-150-2Х12Х20 (150— диаметр циклонных элементов мм, 2—количество раздающих камер, 12 — количество циклонных элементов в горизонтальном ряду; 20 — количество циклонных элементов по вертикали. Каждый батарейный циклон рассчитан на пропуск 138 000 м³/ч при гидравлическом сопротивлении 800—850 Н/м² (80—85 мм вод. ст.).

После пуска в эксплуатацию и перевода котла на сжигание торфа были проведены испытания золоулавливающих аппаратов на эффективность очистки и гидравлическое сопротивление. Результаты испытаний при различной степени отсоса и без отсоса газа представлены на рисунке 11.



Рисунок 11. График изменения коэффициента очистки от степени отсоса и рециркуляции потока.

1 – для батарейного циклона БЦРН-150 при $\omega = 3$ м/с; 2 – для секции батарейного циклона из 20 элементов при $\omega = 3,5$ м/с.

Во время испытаний концентрация золы в газе на входе в аппарат составляла 5,5—9 г/м³, медиана распределения частиц соответствовала 28—30 мкм. Концентрация золы на выходе из аппарата при оптимальном режиме (отсос 8,5%) составляла 0,30—0,40 г/м³. При работе без отсоса концентрация увеличивалась до 1,1 —1,2 г/м². Концентрация золы на входе в групповой циклон системы рециркуляции составляла при оптимальном режиме 40—50 г/м³, медиана распределения частиц золы была ниже, чем на входе в концентратор и составляла 18—20 мкм.

Для уточнения технико-экономических характеристик аппарата следует продолжить работы по изучению долговечности узлов и, в первую очередь, тракта рециркуляции.

4.2. Новое техническое решение системы обеспыливания газов

Для устранения недостатков систему ГЗУ произведем замену мокрой очистки газов на сухую, так как одним из наиболее распространенных и надежных способов очистки промышленных газов является механическая очистка в сухих аппаратах. Большинство центробежных аппаратов можно изготавливать непосредственно на монтажных площадках, они дешевле других аппаратов, проще в эксплуатации.

Была разработана промышленная установка. Схема потоков представлена на рисунке

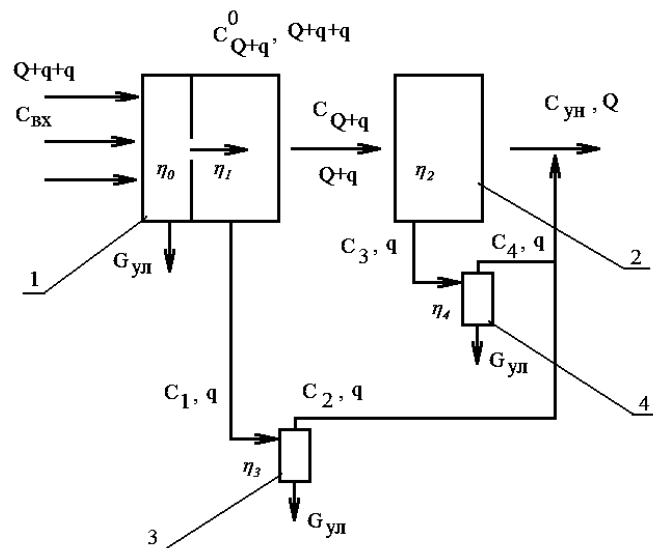


Рисунок 12. Схема потоков новой промышленной установки

Запыленный газовый поток с концентрацией $C_{ВХ}$ в количестве $Q+q+q$ поступает в ВРК 1, снабженный собственным пылесборным бункером. Эффективность осаждения частиц в пылесборном бункере составляет η_0 . Неотсепарированные в пылевом бункере ВРК частицы с потоком в количестве $Q+q+q$ и концентрацией C_{Q+q}^0 с эффективностью η_1 концентрируются на стенке и в количестве равном q с концентрацией C^I выводятся в выносной циклон ВРК 3. Далее концентрат с эффективностью η_3 выделяется из циклона, улавливается и с концентрацией C^{II} присоединяется к основному очищенному потоку. Очищенный от крупных частиц в ВРК поток в количестве $Q+q$ с концентрацией C_{Q+q} поступает в прямоточный циклонный концентратор (ПЦК) 2. Здесь тонкая пыль концентрируется с эффективностью равной η_2 и в количестве равном q с концентрацией C^{III} выводится в выносной циклон ПЦК 4. Далее концентрат с эффективностью η_4 выделяется из циклона, улавливается и с концентрацией C^{IV} присоединяется к основному очищенному потоку. Основной поток, очищенный от пыли в количестве Q и концентрацией $C_{уН}$, поступает на вход дымососа.

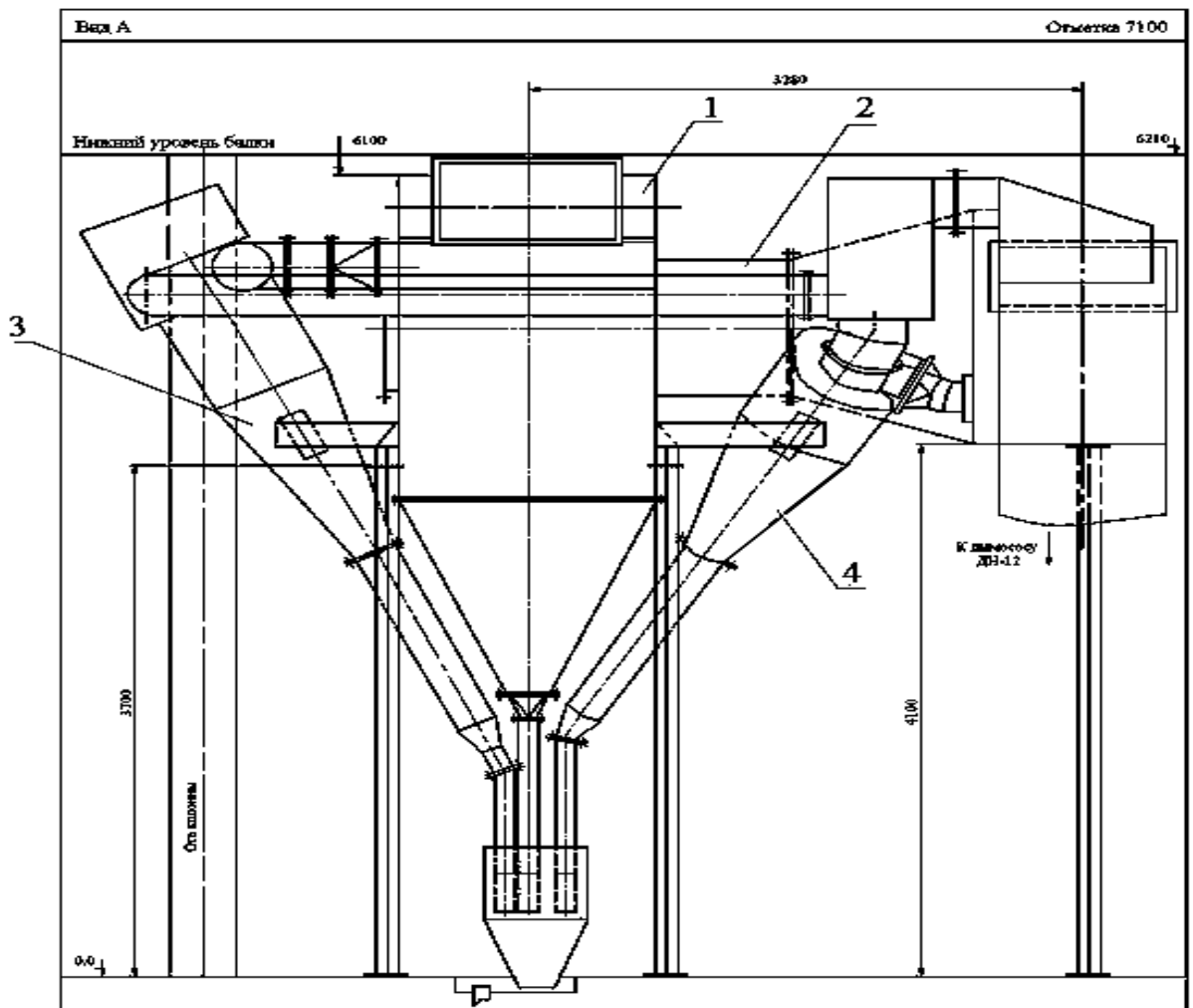


Рисунок 13. Компоновочная схема газоочистки

1 – разгрузитель-концентратор; 2 – концентратор; 3 – циклон Ц₁; 4 – циклон Ц₂.

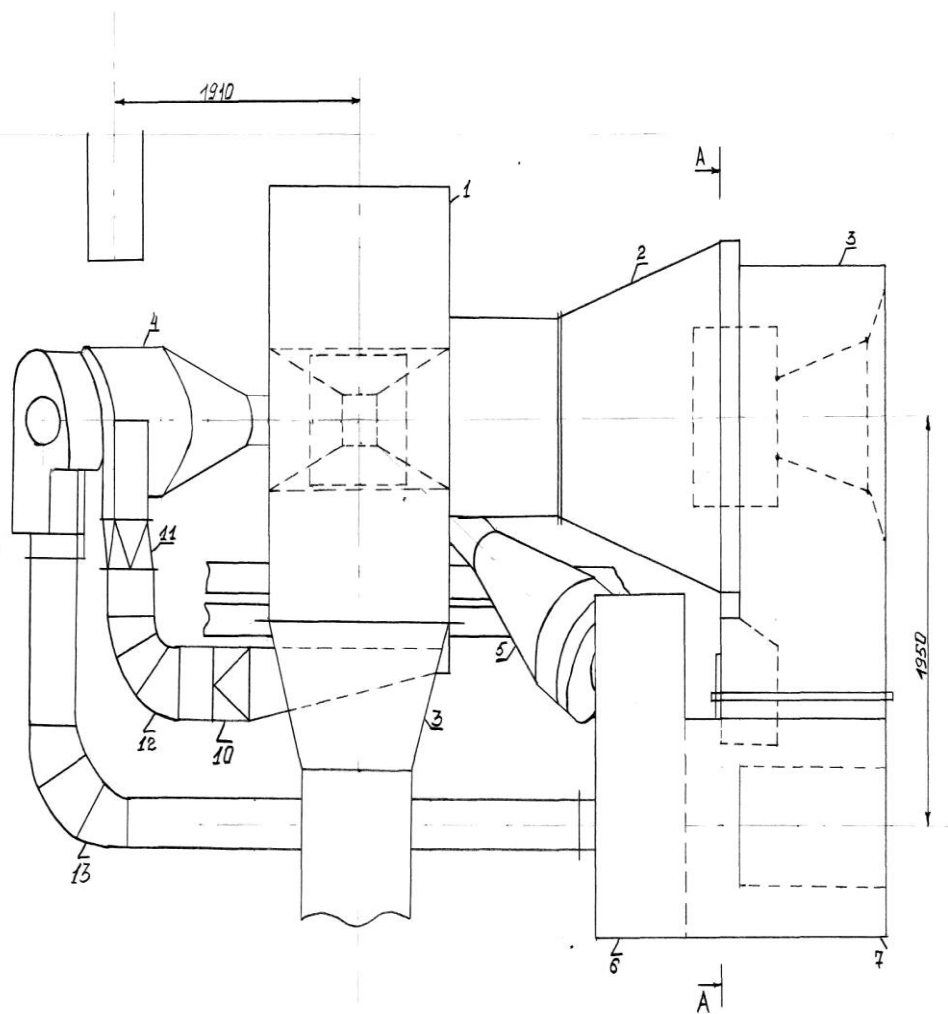


Рисунок 14. Компоновочная схема газоочистки. Вид сверху

1 - разгрузитель-концентратор; 2 – концентратор; 3 – переходник; 4 - циклон Ц₁; 5 – циклон Ц₂; 6 – сборник; 7 – отвод; 8, 9,10,11 – переходник; 12 – подвод; 13 – отвод.

Принцип работы установки: запыленный газовый поток поступает в вихревой разгрузитель-концентратор (ВРК) 1, снабженный собственным пылесборным бункером, где происходит осаждение крупных частиц. Неотсепарированные в пылесборном бункере ВРК частицы концентрируются на стенке и выводятся в выносной циклон ВРК 3, где происходит осаждение частиц. Очищенный газ из циклона присоединяется к основному очищенному потоку. Очищенный от крупных частиц в ВРК поток поступает в прямоочный циклонный концентратор (ПЦК) 2. Здесь тонкая пыль концентрируется и

выводится в выносной противоточный циклон ПЦК 4, где происходит осаждение частиц. Очищенный газ из циклона присоединяется к основному очищенному потоку. Основной очищенный от пыли поток из ПЦК поступает на вход дымососа. Концентрат из ВРК И ПЦК отводится в противоточные ЦА, снабженные транзит - приемниками для успокоения жгутов пыли, где происходит уменьшение крутки потока, затухание несущего вихря и успокоение жгутов пыли. В транзит - приемниках происходит непрерывное затухание потоков, что способствует формированию насыпного слоя, содержащего частицы размером менее 10 мкм. Благодаря применению циклонов с транзит- приемниками происходит высокоэффективная сепарация тонкой пыли, а благодаря применению регулирующих устройств на ВРК осуществляется настройка работы оборудования в зависимости от режима работы котла. Выполненные натурные замеры эффективности показали, что эффективность установки составляет 95%. Аппараты механической очистки предполагается установить вместо скрубберов, а удаление золы осуществлять эжекторными струйными аппаратами, что предотвращает поломки и повышает надежность системы.

4.3. Расчет промышленной системы газоочистки

В качестве системы сухой очистки отходящих дымовых газов от котлоагрегата принята система из пяти блоков трехступенчатых инерционных аппаратов с выносными циклонами. Расход дымовых газов через каждый блок составляет $120000\text{м}^3/\text{ч}$.

В качестве первой и второй ступеней сухой очистки каждого блока используется вихревой сепаратор–осадитель–концентратор пыли, снабженный направляющими и ограничивающими движение запыленного потока приспособлениями, регулирующей аппаратурой, собственным пылевым бункером, стояком для транспортировки уловленной пыли и

затвором непрерывной выгрузки. Во второй степени сухой очистки используется выносной циклон сепаратора-осадителя (ЦН-11, $d=1000$ мм), с собственным транзит-«приемником», отдельным стояком для транспортировки уловленной пыли, затвором непрерывной выгрузки и раскручивателем очищенных газов.

В качестве третьей степени сухой очистки используется прямоточный пылеконцентратор, также снабженный выносным циклоном ЦН-11, $d=1000$ мм с собственным транзит-«приемником», отдельным стояком для транспортировки уловленной пыли, затвором непрерывной выгрузки и раскручивателем очищенных газов.

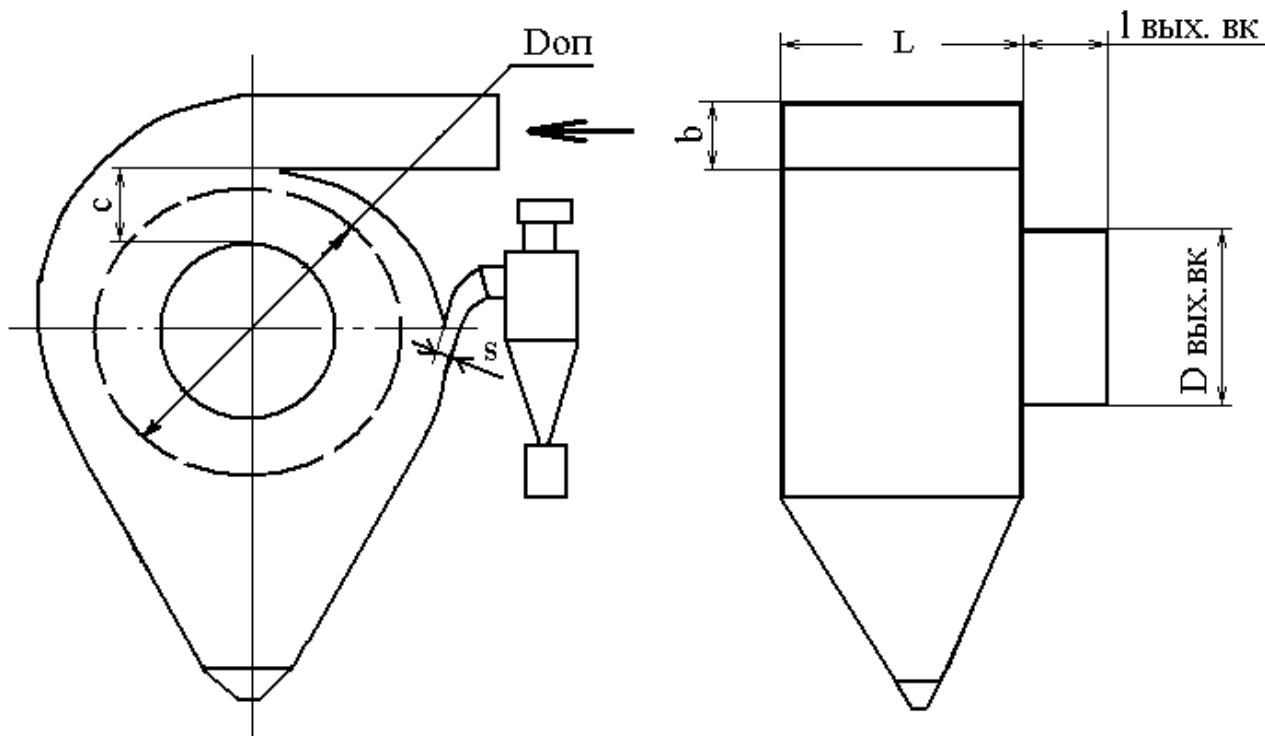
Пыль, уловленная во всех степенях очистки, поступает в общий прямоугольный приемник пыли. Далее направляется либо в существующий гидроэлеватор, которым транспортируется на золоотвал предприятия, либо направляется в системой пневмотранспорта на склад-силос для отгрузки золы потребителям. В качестве побудителя движения запыленного газа используется существующие центробежные дымососы, расположенные после установок пыле- золоулавливающей системы очистки отходящих дымовых газов.

Инженерное оборудование

На каждой установке пыле- золоулавливающего блока сухой очистки отходящих дымовых газов применено нестандартное оборудование:

1. Вихревой сепаратор-осадитель, в количестве 1 шт.
2. Прямоточный пылеконцентратор, в количестве 1 шт.
3. Циклон ЦН-11, $d=1000$ мм, в количестве 2 шт.

1. Техническое обоснование выбора типоразмера вихревого сепаратора-осадителя по данным.



Для вихревой камеры скорость газа на входе по рекомендации [2] составляет $\omega_{ВХ} = 21-25$ м/сек, принимаем 24.7 м/с

Необходимая площадь прямоугольного входного сечения вихревой камеры $a \times b$ составляет:

$$S_{оп} = \frac{Q_p}{\omega_{ВХ}} = \frac{33.3}{24.7} = 1,35 \text{ м}^2;$$

где Q_p - объемный расход запыленных дымовых газов, м³/с:

$$Q_p = 120000/3600 = 33.3 \text{ м}^3/\text{с};$$

Принимаем ширину прямоугольного входа вихревой камеры и ширину камеры $L=2250$ мм, то высота прямоугольного входа $b=600$ мм.

Для вихревой камеры скорость газа в опорном сечении составляет $\omega_{оп} = 4-5$ м/с, принимаем 4.7 м/с;

Необходимая площадь опорного сечения вихревой камеры $S_{оп}$

$$\text{составляет: } S_{оп} = \frac{Q_p}{\omega_{оп}} = \frac{33.3}{4,7} = 7.08 \text{ м}^2.$$

Тогда опорный диаметр вихревой камеры $D_{оп}$:

$$D_{оп} = \sqrt{4S_{оп} / \pi} \approx 3,0 \text{ м}.$$

Для более устойчивой работы вихревой камеры и улучшения ее работы примем уровень отвода запыленных газов в выносные циклоны 10%.

Для вихревой камеры оптимальная скорость газа на выходе составляет $\omega_{\text{ВЫХ}} = 12,0$ м/сек.

Необходимая площадь выходного сечения вихревой камеры $S_{\text{ВЫХ}}$ составляет:

$$S_{\text{ВЫХ ВК}} = \frac{Q_P}{\omega_{\text{ВЫХ}}} = \frac{33,3}{12,0} \approx 2,77 \text{ м}^2.$$

Выходной диаметр вихревой камеры $D_{\text{ВЫХ}}$ составляет:

$$D_{\text{ВЫХ}} = \sqrt{4S_{\text{ВЫХ}} / \pi} \approx 1,8 \text{ м}.$$

Из компоновочных условий принимаем длину выходного патрубка вихревой камеры $l_{\text{ВЫХ.В.К.}} = 1200$ мм.

Ширина поперечной щели S для отвода запыленных газов в выносной циклон равна 20% от ширины входа.

Тогда $S = 0,20 \cdot 600 \text{ мм} = 120 \text{ мм}$.

Гидравлическое сопротивление вихревой камеры $\Delta P_{\text{В.К}}$ определяем по формуле:

$$\Delta P_{\text{В.К}} = \bar{P} \cdot \rho \frac{\omega_{\text{ВЫХ}}^2}{2}, \text{ Па};$$

где:

\bar{P} - безразмерная величина перепада давления в вихревой камере, берется по графику,

где: $R = 0,8$ - выходной радиус вихревой камеры, м, $l = R + b/2 + c$ - входное плечо вихревой камеры, м, $c = 0,275$, расстояние между стенками подводящего и выходного каналов, м, $l = 0,9 + 0,6/2 + 0,275 = 1,475$ - входное плечо вихревой камеры, м, L, b - размеры входного сечения, м,

$$n_K = \frac{\pi R l}{L b} = \frac{3,14 \cdot 0,9 \cdot 1,475}{0,6 \cdot 2,25} = 3,15, \text{ при этом } \bar{P} = 15.$$

$\omega_{\text{ВЫХ}} = 12,0$ - скорость в выходном патрубке вихревой камеры, м/сек;

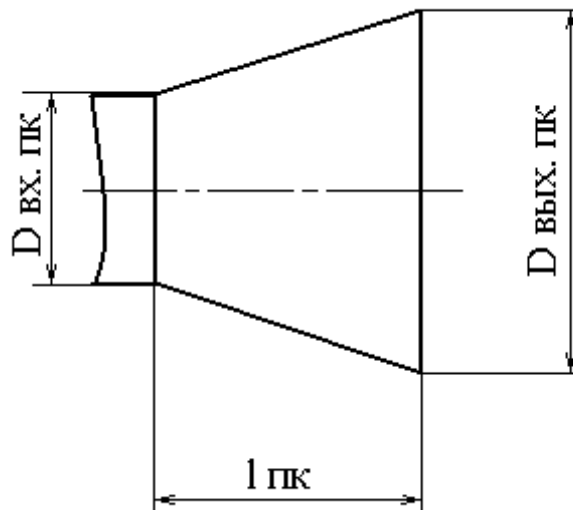
ρ - плотность газового потока, кг/м³.

$$\rho = \rho_0 \frac{273 \cdot (P_{\text{БАР}} - P_p / 13,6)}{760 \cdot (273 + T_r)} = 1,293 \frac{273 \cdot (745 - 13,4 / 13,6)}{760 \cdot (273 + 180)} = 1,293 \cdot 0,6 = 0,75 \text{ кг/м}^3.$$

Где $\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$ – плотность газовой среды при 0°C и 760 мм. рт. ст. ; $P_{\text{БАР}} = 745 \text{ мм. рт. ст.}$ – барометрическое давление; $P_p = 13,4 \text{ мм. рт. ст.}$ – разряжение на входе в пыле-золоулавливающую систему; $T_r = 180^\circ\text{C}$ – температура запыленных дымовых газов на входе в вихревую камеру.

$$\Delta P_{\text{В.К}} = \bar{P} \cdot \rho \frac{\omega_{\text{ВЫХ}}^2}{2} = 15 \cdot 0,75 \frac{12^2}{2} = 810 \text{ Па.}$$

2. Техническое обоснование выбора типоразмера прямооточного концентратора.



Для прямооточного концентратора начальный диаметр соответствует диаметру выходного патрубка вихревой камеры:

$$D_{\text{ВХ ПК}} = \sqrt{4S_{\text{ВЫХ ВК}} / \pi} \approx 1,8 \text{ м.}$$

Из компоновочных условий принимаем длину прямооточного концентратора $l_{\text{ПК}} = 2000 \text{ мм.}$

Принимаем конечный диаметр прямооточного концентратора $D_{\text{ВЫХ}} = 1,6D_{\text{ВХ}} = 2880 \text{ мм.}$

Гидравлическое сопротивление прямооточного концентратора $\Delta P_{\text{ПК}}$ определяем по формуле: $\Delta P_{\text{ПК}} = \xi \frac{\rho \omega_{\text{ВХ}}^2}{2}$, Па;

где:

ξ - коэффициент гидравлического сопротивления. По экспериментальным данным, его величина, отнесенная к сечению входного патрубка, равна $\xi=17-18$, принимаем $\xi=17$.

$\omega_{ВХ}=14,33$ - скорость во входном патрубке вихревой камеры, м/с;

$\rho=0,75$ - плотность газового потока, кг/м³.

$$\Delta P_{ПК} = \xi \frac{\rho \omega_{ВХ}^2}{2} = 17 \frac{0,75 \cdot 12^2}{2} \approx 918 \text{ Па.}$$

3. Техническое обоснование выбора типоразмера циклона.

Для циклонов типа ЦН-11 плановую скорость газа принимаем

$\omega = 4.3$ м/с.

Необходимая площадь сечения циклонов $F_{ЦА}$, при условии, что через выносные циклоны проходит не более 10% от всего количества образующихся дымовых газов, составляет:

$$F_{ЦА} = \frac{Q_p}{\omega} = \frac{33.3 \cdot 0.1}{4.3} = 0.78 \text{ м}^2,$$

где Q_p - объемный расход газа, м³/с.

Тогда диаметр циклона $D_{ЦА} = \sqrt{4F_{ЦА} / \pi} \approx 1$ м..

Отвод уловленного концентрата из вихревой камеры и прямооточного пылеконцентратора через выносной циклонный аппарат осуществляется за счет создаваемого между выхлопным и пылевыводным патрубками перепада давления. Установка специального вентилятора для отсоса пылевого концентрата через выносные циклоны не требуется.

Расчетное гидравлическое сопротивление всех установок пыле-золоулавливающей системы сухой очистки отходящих дымовых газов от котлоагрегатов 2000 Па.

Проведем расчет эффективности сепарации пыли в системе пыле-золоулавливания. Топливо поступает с различных разрезов с зольностью, находящейся в диапазоне $A=15-30\%$. Тонина помола контролируется

остатком на сите 90 мкм. Среднее значение величины остатка на сите 90 мкм составляет 30%. Допуская, что после выгорания органической части топлива объем частицы уменьшится пропорционально объему органической части топлива, найдем, что при зольности топлива 20% конечный размер частицы будет составлять $\sqrt[3]{0.2} = 0.58$ от первоначального. По различным данным испытания систем газоочисток на котлах электростанций медианный размер пыли для различных углей и систем пылеприготовления с шаровыми мельницами находится в диапазоне 20–40 мкм и дисперсией 1,5– 3.5. Определим медианное значение $\delta_{50} = 35$ мкм, дисперсию $\sigma=2.5$. Зная фракционную кривую обеспыливания и фракционное содержание частиц за котлом можно найти общую эффективность.

Найдем фракционную эффективность сепарации пыли для каждой ступени

Фракционная эффективность сепарации пыли для вихревого сепаратора-осадителя определяется по формуле [пос.]

$$\eta_{i \text{ ВК}} = 1 - \frac{\left\{ \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) (1 - \eta_2) \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^\alpha + \eta_2 \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{\alpha - 1} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{\alpha-1} \right] \right\}}{\left[\eta_2 \left(\frac{\alpha}{g_{*1} R_1} + 1 \right) + \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^\alpha (1 - \eta_2) \right] \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right)}$$

где R_1, R_2 - радиусы выхода и корпуса; $\eta_2 = 1$ - коэффициент отвода частиц из ядра на периферии потока; $g_{*1} = \sqrt{V_{\phi 1} V_{r1}}$ диффузионная скорость частиц на границе ядра потока, $\alpha = A_K / \varepsilon$,

$$A_K = \frac{\tau V_{\phi 2}^2}{(1 - 2n)} \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{2n} \frac{1}{(R_2/R_1 - 1)} \left[\left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{1-2n} - 1 \right] \text{— силовая функция, } \tau = \frac{\rho_\delta}{\rho} \frac{\delta^2}{18\nu} \text{— время}$$

релаксации, $\varepsilon = (0.01 + 0.56M) R_2 W_{\text{ВХ}} \xi M$ —коэффициент турбулентного

перемешивания частиц определяется по [пос.]. В [пос.] проведен расчет

фракционной эффективности для следующих данных сепаратора:

$$R_1 = 0.333 \text{ (м)}, \quad R_2 = 0.666 \text{ (м)}, \quad W_{\text{ВХ}} = 20 \text{ (м/с)}; \quad \eta_2 = 0.3; \quad \rho_\delta / \rho = 3330 ;$$

$\nu = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2 \text{ / с)}$. Причем в этом сепараторе геометрические соотношения приблизительно соответствуют соотношениям промышленного аппарата. Поэтому расчет промышленного варианта сепаратора–разгрузителя проведем пересчетом кривой уноса, приведенной в [пос.], используя результаты теории подобия, согласно которой фракционные эффективности подобных аппаратов в зависимости от обобщенных параметров описываются одной кривой.

В качестве обобщенного параметра применяют параметр $Stk = \frac{\delta^2 \rho_{\delta} W_0}{18\nu \rho R_c}$.

Эффективности одинаковы, если $\left(\frac{\delta^2 \rho_{\delta} W_0}{18\nu \rho R_c} \right)_{\text{модели}} =$

$\left(\frac{\delta^2 \rho_{\delta} W_0}{18\nu \rho R_c} \right)_{\text{промышленного образца}}$. Таким образом,

$$\delta_{\text{промообр}} = \delta_{\text{модели}} \sqrt{\frac{\nu_{\text{обр}} \rho_{\delta_{\text{мод}}} \rho_{\text{обр}} W_{\text{мод}} R_{\text{обр}}}{\nu_{\text{мод}} \rho_{\delta_{\text{обр}}} \rho_{\text{мод}} W_{\text{обр}} R_{\text{мод}}}}$$

Коэффициент кинематической вязкости

дымовых газов $\nu = 3.1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, отношение плотностей частицы и газа $\rho_{\delta}/\rho = 3700$, отношение опорных диаметров образца и модели $3/2 \cdot 0.666 = 2.25$.

Таким образом, эффективности (уносы) одинаковы для частиц в модели и образце, которые находятся в зависимости

$$\delta_{\text{промообр}} = \delta_{\text{модели}} \sqrt{2 \cdot 09 \cdot 2.25} = 2.01 \delta_{\text{модели}}$$

На рис. показана кривая уноса для сепаратора. Верхние значения диаметров частиц соответствуют уносу в модели, нижние—уносу в промышленном аппарате.

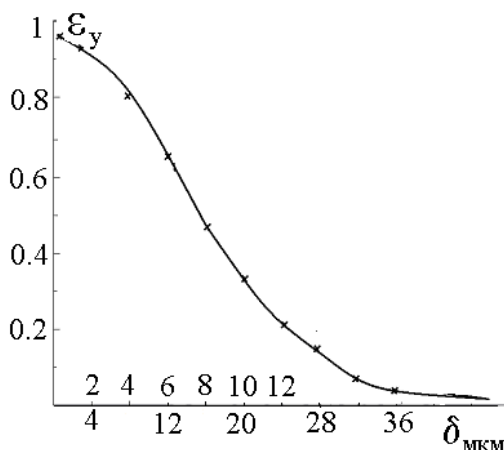


Рис 15. Фракционный унос пыли из вихревого пылеуловителя

Значения фракционной эффективности ($\eta_i=1-\varepsilon_y$) рассматриваемого вихревого сепаратора–осадителя представлен в таблице 4.

Таблица 4. Фракционная эффективность вихревого сепаратора–осадителя.

Размер частиц, мкм	1	4	8	12	16	20	28	36	72
$\eta_{i \text{ ВК}}$	0,002	0,02	0,05	0,35	0,55	0,71	0,92	0,98	0,99

Выражение эффективности сепарации частиц для прямоточного пылеконцентратора запишем в виде

$$\eta_{i \text{ ПК}} \approx \frac{K(1-R_2^{2v+2})}{(1-R_2^2) \left\{ (1-K)R_1^{2v} + \frac{K}{(1-R_2^2)} [1-R_2^{2v+2}] \right\}}$$

Здесь $2v = \alpha A$

Значение силовой функции A в прямоточном пылеотделителе находится из выражения

$$A(1-R_*) = \frac{V_{\varphi 1}}{W_{\text{Ц}}} \left[\frac{1}{3} R_T^{0.4} + \frac{1}{0.4} (R_{\text{ВЫХ}}^{0.4} - R_T^{0.4}) \right],$$

$$\alpha^{(1)} = Stk Re_{\delta, w} \frac{\mu}{\delta \rho} \frac{R_{\text{ВХ}} + R_{\text{ВЫХ}}}{2\varepsilon} = Stk W_{\text{Ц}} \frac{R_{\text{ВХ}} + R_{\text{ВЫХ}}}{2\varepsilon}$$

$$Stk = \frac{2\tau W_{\text{Ц}}}{R_{\text{ВХ}} + R_{\text{ВЫХ}}}, \quad Re_{\delta, w} = \frac{\tilde{\omega} \delta \rho}{\mu}, \quad \omega_x = \tilde{\omega} = \frac{Q}{4\pi R r_1}.$$

Приведены расчеты фракционной эффективности сепарации для различных размеров, геометрических соотношений, различных долей отвода газа с концентратом пыли. Аналогичный пересчет, как для вихревого разгрузителя–концентратора, позволяет получить значения фракционной эффективности прямоточного пылеконцентратора, которые представлены в таблице 5.

Таблица 5. Фракционная эффективность прямоточного пылеконцентратора.

Размер частиц, мкм	2	4	6	15	20	30	60	90	120
$\eta_{i \text{ ПК}}$	0,10	0,13	0,3	0,726	0,98	0,99	0,999	0,999	0,999

Найдем фракционную эффективность сепарации пыли для циклона ЦН-11 диаметром 1000 мм по данным /Справочник по пылезолоулавливаю/.

Фракционная эффективность циклонных аппаратов является функцией интеграла вероятности и может быть записана в общем виде $\eta_i = \Phi(X_i)$, где

$$X_i = \frac{\lg \delta / \delta_{50}}{\lg \sigma_{\eta}^T}.$$

$$\delta_{50} = \delta_{50}^T \sqrt{\frac{D}{D_T} \frac{\rho_{ч,Т}}{\rho_ч} \frac{\mu}{\mu_T} \frac{w_T}{w}}, \text{ где } \delta_{50}^T = 3.65 \text{ мкм, } D_T = 0.6 \text{ м, } \rho_{ч,Т} = 1930 \text{ кг/м}^3,$$

$\mu_T = 22.2 \cdot 10^{-6}$ Па с, $w_T = 3.5$ м/с, $\lg \sigma_{\eta}^T = 0,352$ – параметры, определяющие эффективность циклонов НИИОГАЗ по таблице 2.8.

Рабочие параметры для используемых циклонов $D = 1.0$ м, $\rho_ч = 2500$ кг/м³, $\mu = 11.25 \cdot 10^{-6}$ Па с, $w_T = w = 3.5$ м/с,

$$\delta_{50} = 3.65 \sqrt{\frac{1.0 \cdot 1930 \cdot 11.25 \cdot 3.5}{0.6 \cdot 2500 \cdot 22.2 \cdot 3.5}} = 2.9 \text{ мкм.}$$

Расчет фракционной эффективности используемых циклонов представлен в таблице 6.

Таблица 6. Фракционная эффективность циклона ЦН-11, d=1000 мм.

Размер частиц, мкм	2	4	6	12	18	24	48	70	92
X_i	-1,11	0,24	0,87	1,72	2,227	2,58	3,43	3,93	4,29
$\eta_{i \text{ ЦН-11}}$	0,13	0,59	0,81	0,95	0,98	0,99	0,99	0,999	0,999

Таблица 7. Сводная таблица фракционной эффективности трех ступеней системы пыле- золоулавливания.

Размер частиц, мкм	2	4	6	12	18	24	48	70	92
$\eta_{i \text{ ВК}}$	0,002	0,02	0,05	0,35	0,55	0,71	0,98	0,99	0,999
$\eta_{i \text{ ПК}}$	0,10	0,13	0,3	0,66	0,96	0,98	0,999	0,999	0,999
$\eta_{i \text{ ЦН-11}}$	0,13	0,59	0,81	0,95	0,98	0,99	0,99	0,999	0,999

Фракционная эффективность трех ступеней системы пыле- золоулавливания и всей газоочистки приведена в сводной таблице 7.

$$\eta = 1 - (1 - \eta_0) [1 - \eta_3 \{ \eta_2 - \eta_1 \eta_2 + \eta_1 \}],$$

где $\eta_0, \eta_1, \eta_2, \eta_3$ - эффективность осаждения частиц в пылесборном

бункере вихревой камеры-осадителя, на криволинейной поверхности вихревой камеры-осадителя, прамоточного пылеконцентратора и циклона.

По данным в пылесборном бункере осаждаются частицы с размером более 15 мкм. Фракционная эффективность пылеулавливания для пылесборного бункера вихревой камеры-осадителя приведена в таблице 5. Сводная таблица расчета фракционной эффективности системы пыле-золоулавливания приведена в таблице 8. Фракционная эффективность системы пыле- золоулавливания в вероятностно-логарифмических координатах приведена на рис. 16.

Таблица 8. Сводная таблица расчета фракционной эффективности системы пыле- золоулавливания.

Размер частиц, мкм	2	4	6	12	18	24	48	70	92
$\eta_{i \text{ ВК}}$	0,002	0,02	0,05	0,35	0,55	0,71	0,98	0,99	0,999
η_0	0	0	0	0	0,05	0,14	0,5	0,7	0,9
η_1	0,002	0,02	0,05	0,35	0,55	0,71	0,98	0,99	0,999
η_2	0,10	0,13	0,3	0,66	0,96	0,98	0,999	0,999	0,999
η_3	0,13	0,59	0,81	0,95	0,98	0,99	0,99	0,999	0,999
$\eta_{\Sigma i}$	0,013	0,21	0,32	0,78	0,92	0,97	0,99	0,999	0,999

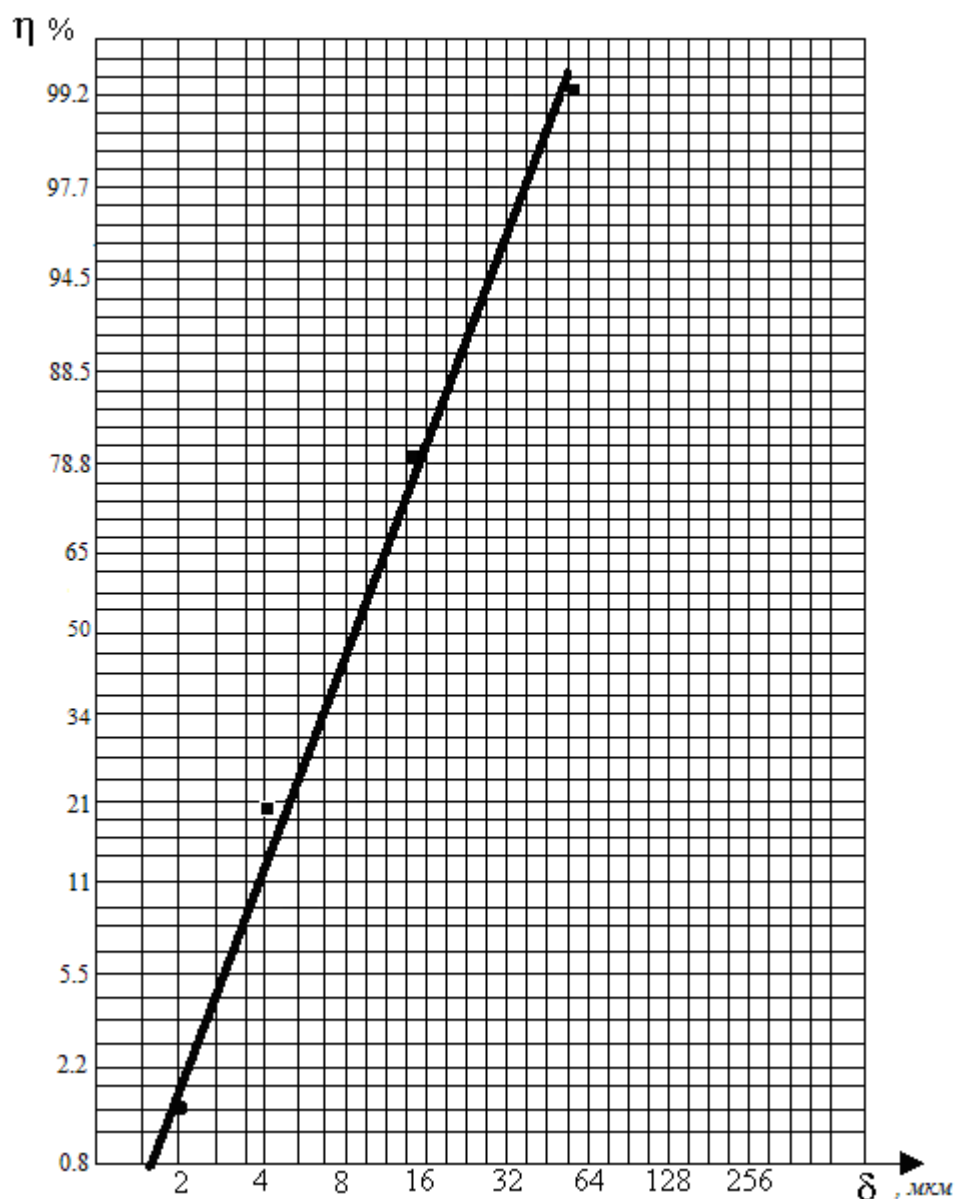


Рис. 16. Фракционная эффективность системы пыле- золоулавливания.

Найдем общую эффективность сепарации частиц системы пыле- золоулавливания. Общая эффективность установки является функцией интеграла вероятности и может быть записана в общем виде $\eta_i = \Phi(X^0)$, где

$$X^0 = \frac{\lg \delta_m / \delta_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\zeta}}. \text{ Здесь } \delta_m - \text{ медианный размер улавливаемых частиц, } \delta_{50}$$

- размер частиц улавливаемых с эффективностью 50%, $\lg \sigma_\eta = \lg \frac{\delta_{84.1}}{\delta_{50}} = \lg \frac{\delta_{50}}{\delta_{16}}$ -

дисперсия частиц в функции распределения парциальных коэффициентов

очистки, где $\delta_{84.1}$, δ_{50} , δ_{16} - размер частиц, улавливаемый с эффективностью 84.1, 50 и 16% соответственно. $\lg \sigma_{\eta} = \lg \frac{\delta_{84.1}}{\delta_m} = \lg \frac{\delta_m}{\delta_{16}}$ - дисперсионный состав пыли, где $\delta_{84.1}$, δ_m , δ_{16} - диаметр частиц, для которых суммарный вес всех частиц, имеющих размер меньше $\delta_{84.1}$, δ_m и δ_{16} , составляет соответственно 84.1, 50 и 16% от общего веса пыли.

На рис. 16 находим медианный размер улавливаемых частиц составляет 8 мкм, дисперсность $\sigma_{\eta} = \delta_{84} / \delta_{50} = 16 / 8 = 2$

$\delta_{84.1}$, δ_{50} , δ_{16} - размер частиц, улавливаемый с эффективностью 84.1, 50 и 16% соответственно. Подставляя полученные значения в выражение

	функции	интеграла	вероятности
$X^0 = \frac{\lg \delta_m / \delta_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\eta}}} = \frac{\lg 35 / 8}{\sqrt{\lg^2 2 + \lg^2 2.5}} = \frac{0.64}{0.32} = 2$,			что соответствует

эффективности улавливания 97%.

4.4. Пневмотранспорт

Пневматический транспорт получил особенно широкое развитие за последние два-три десятилетия.

Почти на всех современных мощных теплоэлектростанциях применяется гидравлический способ удаления шлаков и золы (ГЗУ); однако устройство ГЗУ связано с большими капитальными затратами и требует значительных расходов воды и электроэнергии, а также большой площади для золоотвалов, которая, как правило, отсутствует вблизи котельных, находящихся в черте города. Поэтому в котельных небольшой и средней мощности в настоящее время часто применяется механическое и пневматическое удаление шлаков из-под топок и золы-уноса из различных точек газового тракта с последующей перегрузкой их из сборного бункера в автомашины или железнодорожные вагоны.

Капитальные затраты на устройство пневматического шлакозолоудаления (ПЗУ) составляют 350—750 руб. на 1 *т/час* удаляемых шлаков и золы (примерно в 3 раза меньше, чем на ГЗУ), а эксплуатационные расходы при ПЗУ и ГЗУ мало разнятся.

Котельные шлаки и зола в последние годы широко применяются и за границей для производства шлакоблоков, шлакоцемента, золопенобетона и пр. Применение гидрозолоудаления в этих случаях нежелательно, так как увлажнение угольной золы и шлаков снижает их качества как сырья при производстве вяжущих; по этой же причине смачивание сланцевой золы, подлежащей использованию, совершенно недопустимо.

В связи со значительным ростом потребности в сухой золе для производства цемента и различных строительных изделий в последние годы многие крупные электростанции за границей (с котельными производительностью до 1 700 г пара в 1 час) переводятся с гидравлического золоудаления на пневматическое.

В настоящее время применяются две основные схемы пневматического шлако-золоудаления: нагнетательная и всасывающая. На Беловской ГРЭС предлагается установить всасывающую установку ПЗУ.

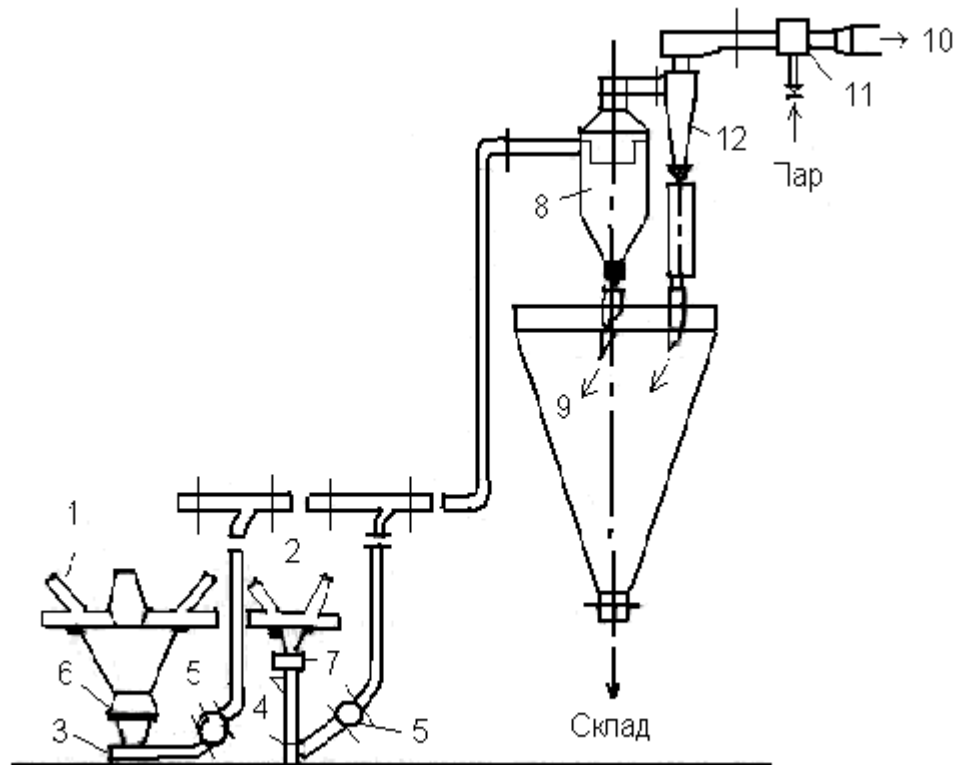


Рисунок 17. Схема всасывающей установки шлако-золоудаления
 1 – шлаковый бункер котла; 2 – золовый бункер ЗУУ; 3 – шлакоприемник; 4 – золоприемник; 5 – кран пробкового типа; 6 – шлакодробилка; 7 – задвижка; 8 – циклон; 9 – приемный бункер; 10 – отвод запыленного воздуха (по месту); 11 – паровой эжектор; 12 – пылеотделитель.

Шлак из бункера 1 и зола из бункера 2 попадают в шлакоприемники 3 и золоприемники 4 соответственно. Во всасывающих схемах 3 и 4 имеют открытое (регулируемое) отверстие для входа атмосферного воздуха. Перед поступлением в приемник 3 шлак проходит через дробилку 6. От приемников 3 воздух транспортирует шлаки и золу по напорному трубопроводу к бункеру 9; над бункером установлен циклон разгрузатель 8 и вторая ступень очистки воздуха – пылеотделитель 12. Отличительной особенностью этой схемы является то, что магистральный транспортный трубопровод и все его ответвления находятся под разрежением, создаваемым эжектором 11. Образовавшуюся золу планируется отправлять на склад.

При работе эжектора циклон и пылеотделитель, как и вся система, должны находиться под значительным разрежением, которое не удастся

создать, если затворы на выпускных патрубках циклона и пылеотделителя не будут герметичными. Все процессы желательно и возможно автоматизировать. В схеме пневматического транспорта планируется установить пароструйные эжекторы.

5. Использование топливных зол при производстве цемента

Использование отходов тепловых электростанций (топливных зол и шлаков) следует считать частью общей проблемы сохранения и очистки от загрязнения окружающей среды.

Загрязнение окружающей среды — воздуха, воды и почвы одна из важнейших проблем современности, касающаяся практически всех стран, и в особенности высокоразвитых.

Тепловые электростанции выдают ежегодно более 60 млн. т золы и шлака. Из них в различных отраслях народного хозяйства используется лишь около 3%.

Сжигание твердых топлив в пылевидном состоянии в топках котлоагрегатов ТЭС происходит при температуре 1200°C и выше в окислительной газовой среде. Неорганическая (минеральная) часть топлива в основном состоит из смесей глинистых или мергелистых веществ с песком, а также минералов, содержащих соединения железа, алюминия, кальция, магния и других окислов. При термическом воздействии на минеральную часть топлива происходят физико-химические реакции между указанными компонентами, приводящие к образованию конгломератов различных соединений в виде твердых частиц различной величины. Мелкие и легкие частицы (зола-унос) с удельной поверхностью более 1500 см²/г в количестве примерно 80-90% уносятся из топки с дымовыми газами и улавливаются соответствующими устройствами. Более крупные частицы оседают на под топки, иногда, сплавляясь, образуют кусковые шлаки. При сжигании в топках с жидким шлакоудалением минеральная часть топлива превращается в расплав, который выливается в воду, образуя топливные гранулированные шлаки.

Таким образом, наряду с топливными пылевидными золами, которые уже применяются при производстве цемента, могут достаточно широко использоваться на цементных заводах и топливные гранулированные шлаки -

продукты водной грануляции расплава минеральной части твердых топлив, получаемого при сжигании этих топлив в современных энергетических топках с жидким шлакоудалением. Сегодня при жидком шлакоудалении уже работает ряд оснащенных мощными котлоагрегатами крупных тепловых электростанций, в частности в Сибири: Назаровская ГРЭС, Томь-Усинская ГРЭС и др. Общее количество топливных шлаков, выдаваемых ежегодно тепловыми электростанциями страны, достигает нескольких миллионов тонн.

Топливные гранулированные шлаки могут представить значительный интерес для различных отраслей промышленности строительных материалов, в частности цементной, так как их использование, как правило, не вносит заметных изменений в существующий технологический процесс производств, где используются доменные гранулированные шлаки. Кроме того, топливные шлаки в отличие от зол не содержат некоторых нежелательных в составе цемента примесей. В то же время применение топливных пылевидных зол в промышленности строительных материалов неизбежно вносит изменения в технологическую схему (прием, хранение, дозирование и т. д.) их производства, особенно в случае использования доменных шлаков.

В России и за рубежом проведены большие исследовательские работы и накоплен практический опыт использования золы и шлаков ТЭС как в промышленности строительных материалов, которая может явиться крупным потребителем золошлаковых отходов, так и в различных отраслях промышленности и строительства: при производстве искусственных пористых заполнителей, для изготовления изделий автоклавного твердения, для замены части цемента при изготовлении бетонов в условиях крупных строек, в частности гидротехнических; в качестве заполнителя при изготовлении бетонов; при укреплении грунтов; в транспортном, дорожном, аэродромном строительстве и др.

Кроме того, отходы ТЭС могут найти применение и в сельском хозяйстве

(например, в качестве известковых удобрений).

Использование текущих (ежегодных) выходов золы и топливного шлака позволит тепловой энергетике резко уменьшить капитальные затраты на строительство и эксплуатацию золошлакоотвалов ТЭС и снизить тем самым себестоимость электроэнергии. В настоящее время на строительство и содержание отвалов тратятся значительные средства. Золошлакоотвалы размещаются обычно на большом расстоянии от электростанции: средняя их удаленность составляет 6-8 км, а у отдельных ТЭС 11—22 км. На это расстояние прокладывают две и более «ниток» трубопроводов диаметром до 800 мм, по которым перекачивают золошлаковую пульпу в отвал. Через 5-6 лет эксплуатации трубы полностью выходят из строя вследствие абразивного воздействия золы и шлака. Золошлакоотвалы загрязняют воздушные бассейны, а вода, используемая для транспортирования золы и шлака, сбрасываемая в водоемы после отстаивания в отвале, загрязняет их.

5.1. Промышленный опыт использования топливных зол

Использование золы-уноса в промышленности строительных материалов и строительстве осуществляется по двум направлениям: непосредственным введением золы-уноса в растворные и бетонные смеси на месте их приготовления и приготовлением в заводских условиях цемента путем совместного измельчения портландцементного клинкера с золой-уносом или интенсивным смешиванием портландцемента и золы уноса.

Первое направление особенно характерно для строительства США, Японии, Англии. По второму пути пошла Франция, где зола вводится в состав портландцемента непосредственно на цементных заводах. В США на крупном строительстве зола была впервые применена при ремонтных работах на Гуверовской плотине, затем при строительстве плотины Хангри Хорс (объем бетона 2350 тыс. м³). Экономия цемента при строительстве этой плотины благодаря использованию золы-уноса снизила стоимости вяжущего

вещества на 1,7 млн. долл., при этом улучшились технические свойства бетона.

В США стандартизованы технические условия на золу унос как добавку к портландцементному бетону. Также введен стандарт на методы испытания золы уноса как добавки к портландцементному бетону.

В Англии зола-унос тепловых электростанций применяется недавно и в сравнительно небольших масштабах, что обусловлено большой пестротой состава золы. Исследования по применению золы в качестве заменителя части цемента проводились на строительстве электростанций Портисхед, Марчвуд и Уиллингтон. Первым крупным сооружением, где в большом количестве при производстве бетона использовалась зола, является плотина Леднок. При возведении плотины уложили более 62 тыс. м³ бетона с добавкой золы; при этом были преодолены существенные трудности и накоплен значительный опыт в практике использования золы для частичной замены цемента.

В Японии зола-унос впервые была применена на строительстве плотины Судагай, где объем бетона составлял 210 тыс. м³. Практический опыт введения в бетон золы взамен части цемента дал положительные результаты. На строительстве плотины Тагокура и Окутадами с целью снижения экзотермии вводили золу для замещения 30% портландцемента, причем зола добавлялась в замесы бетона в виде водной суспензии. Кроме указанных, в Японии построен еще ряд плотин (напр. Огоучи, Мива и др.) с использованием золы при бетонировании.

По Франции в выпущен портландцемент с золой-уносом, содержащий 80% портландцементного клинкера и 20% совместно размолотой золы. На основе произведенных исследований французский стандарт допускает добавку к цементу 20% золы. Количество стандартного цемента, содержащего золу, составило 3,3 млн. т, т. е. более чем 20% от общего производства цемента в стране. Наряду с выпуском портландцемента с добавкой золы во Франции имеет место использование золы

непосредственно на строительстве — введение ее в состав бетонной смеси. Например, при строительстве плотины Сент-Клер было уложено 13 тыс. м³ бетона с заменой 15% портландцемента золой-уносом.

В Венгрии на цементном заводе Татабания в портландцемент вводится около 10% золы-уноса с электростанции, расположенной в 2 км от него. Зола-унос доставляется на цементный завод в автоцементовозах и вводится в транспортный шнек над цементными силосами. Благодаря высокой дисперсности зола не требует дополнительного измельчения, а перемешивание ее с цементом осуществляется достаточно хорошо в шнеке длиной около 20 м. Зола-унос используется в качестве добавки к портландцементу в Венгрии также на заводе Лабатлан.

Гипроцементом была разработана проектная документация на сооружение и устройства, позволяющие использовать в качестве активной минеральной добавки золу на Ангарском цементном заводе. Ангарский завод после введения в действие приемного устройства золы, транспортных устройств от приемника к цементным мельницам, бункеров над цементными мельницами и закрытых дозаторов начал применять в качестве активной добавки золу-унос Иркутской ТЭЦ-1, расположенной в 3 км от Ангарского завода, вместо привозного (800 км) и, следовательно, дорогостоящего джидинского туфа. Зола от ТЭЦ на цементный завод транспортируется по железной дороге в цементовозах и вводится в мельницу для совместного размолла с клинкером. При выпуске портландцемента добавляется в среднем 12,4% золы. Годовой экономический эффект составляет несколько сотен тысяч рублей из-за разницы в стоимости транспортировки золы и туфа и в их отпускной цене.

Другим примером использования в цементной промышленности зол-уноса, получаемых при сжигании твердых топлив, является производство золопортландцемента на заводе «Пунане Кунда» в Эстонии. Завод при производстве золопортландцемента вводит в его состав 24 - 25% мельчайшей фракции летучей золы, получаемой на Прибалтийской ГРЭС при сжигании сланца-кукерсита. Сланцевая зола по своему химическому и вещественному

составам отличается от соответствующих составов зол, получаемых при сжигании каменных углей. Она содержит большее количество CaO , SO_3 , K_2O и соответственно более низкое количество SiO_2 и Al_2O_3 .

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5БЗБ1	Афанасьеву Сергею Сергеевичу

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	оклад научного руководителя 26300 руб.; оклад инженера 17000 руб.; тариф на электроэнергию 2,05 руб.; тариф на покупку тепловой энергии 1590,46 руб./Гкал (с НДС)
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Районный коэффициент – 30%.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Социальные отчисления от ФОТ – 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Планирование работ и оценка времени их выполнения.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Смета затрат на проект.
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет экономической эффективности и срока окупаемости проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.18
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Н.Г. Кузьмина			01.03.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Афанасьев Сергей Сергеевич		01.03.18

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается целесообразность перевода котлов ПК-40-1 на сухую газоочистку на Беловской ГРЭС. Целью данного раздела является определение эколого-экономической эффективности мероприятия.

При реконструкции золоулавливающей установки Беловской ГРЭС не требуется строительство дополнительных зданий, а также нет затрат по охране и рациональному использованию водных ресурсов.

6.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

Для планирования выполнения работ по разработке проекта перевода котлов ПК-40-1 на сухую газоочистку составляется план. В котором подсчитывается по пунктам трудоемкость работ, количество исполнителей, участвующих в проекте, расходы и текущие затраты: заработная плата, социальные отчисления.

Разделим проект на основные части, и определим время и количество человек, необходимые для выполнения каждой части. Результаты занесем в таблицу №14.

Таблица 14 – График выполнения проекта

№	Наименование работ	Исполнитель	Продолжительность, дней
1	2	3	4
1	Выдача и получение задания	Научный руководитель Инженер	1
2	Сбор исходных данных для проектирования	Инженер	2
3	Анализ существующей системы газоочистки	Инженер	4
4	Техническое описание системы обеспыливания газов	Инженер	3
5	Разработка технического решения системы обеспыливания газов	Инженер	4

Продолжение таблицы №14

1	2	3	4
6	Расчет промышленной системы газоочистки	Инженер	4
7	Промышленный опыт использования топливных зол	Инженер	2
8	Проверка расчётов	Научный руководитель Инженер	1
9	Доработка расчетов и исправление замечаний	Инженер	2
10	Выполнение графической части проекта	Инженер	5
11	Утверждение расчетов и чертежей	Инженер	2
12	Доработка расчетов и исправление замечаний	Инженер	1
13	Оформление работы по стандартам ТПУ	Инженер	3
14	Утверждение ВКР руководителем	Научный руководитель Инженер	1
	ИТОГО:	Научный руководитель Инженер	3 35

В выполнении проекта участвуют два человека: один – руководитель проекта, другой исполнитель проекта.

Время на выполнение проекта $T = 35$ дней.

6.2 Смета затрат на проектирование

Капитальные вложения в проект определяются по следующей формуле:

$$K_{np} = K_{mat} + K_{ам} + K_{зн} + K_{co} + K_{np} + K_{np}, \text{ руб.};$$

где K_{mat} – материальные затраты, руб.;

$K_{ам}$ – амортизация компьютерной техники, руб.;

$K_{зн}$ – затраты на заработную плату, руб.;

$K_{со}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты, руб.;

$K_{нак}$ – накладные расходы, руб.

6.2.1 Материальные затраты

К материальным затратам относятся затраты на канцелярские товары, принимаются в размере 1000,00 руб.

6.2.2 Амортизация компьютерной техники

Отражает сумму амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, рассчитанную исходя из балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации.

К основным фондам при выполнении проекта относятся компьютер (стоимость 30000 руб.) и печатное устройство принтер (стоимость 10000 руб.).

Затраты на амортизацию компьютерной техники рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \text{ руб.}, \quad (32)$$

где $T_{исп.кт}$ – время использования компьютерной техники, $T_{исп.кт} = 35$ дней;

$T_{кал}$ – календарное время, (365 дней);

$Ц_{кт}$ – цена компьютерной техники.

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники, 5 лет;

$$K_{ам.ком.} = \frac{35}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 576 \text{ руб.};$$

$$K_{ам.прин.} = \frac{3}{365} \cdot 5000 \cdot \frac{1}{5} = 8,2 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений:

$$K_{ам.} = K_{ам.комп.} + K_{ам.прин.} = 576 + 8,2 = 584,2 \text{ руб.}$$

6.2.3 Затраты на заработную плату

В состав затрат на оплату труда включаются: выплаты заработной платы за фактически выполненные работы, исходя из сдельных расценок, должностных окладов в соответствии с принятыми на предприятии нормами и системами оплаты труда, выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда; оплата в соответствии с действующим законодательством очередных и дополнительных отпусков.

Общая заработная плата рассчитывается по формуле:

$$K_{зп} = ЗП_{рук.} + ЗП_{инж.}, \text{ руб.}$$

где $ЗП_{рук.}$ – заработная плата научного руководителя

$ЗП_{инж.}$ – заработная плата инженера;

Месячная заработная плата:

$$ЗП_{мес.} = ЗП_о \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ руб.} \quad (34)$$

где $ЗП_о$ – месячный оклад исполнителей проекта (научный руководитель – 26300 руб., инженер – 17000 руб.)

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, $K_1 = 10\%$;

K_2 – районный коэффициент, для города Томска $K_2 = 30\%$;

Месячная заработная плата научного руководителя:

$$ЗП_{мес} = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.}$$

Месячная заработная плата инженера:

$$ЗП_{мес} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы согласно затраченному времени на выполнение НИР:

$$ЗП = \frac{ЗП_{мес}}{Д} * n, \text{ руб.,}$$

где D – количество рабочих дней в месяце, (21 день).

n – фактическое количество отработанных дней.

Заработная плата научного руководителя:

$$ЗП_{рук} = \frac{37609}{21} * 3 = 5372,7 \text{ руб.}$$

Заработная плата инженера:

$$ЗП_{инж} = \frac{24310}{21} * 35 = 40516 \text{ руб.}$$

Затраты на общую заработную плату:

$$K_{зн} = 5372,7 + 40516 = 45888,7 \text{ руб.}$$

6.2.4 Затраты на социальные отчисления

Данная статья отражает обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Затраты на социальные отчисления принимаются в размере 30% от затрат на заработную плату и рассчитываются по формуле:

$$K_{со} = 0,3 \cdot K_{зн}, \text{ руб.}$$

$$K_{со} = 0,3 \cdot 45888,7 = 13766,6 \text{ руб.}$$

6.2.5 Прочие затраты

К прочим затратам себестоимости проекта относятся налоги, отчисления во внебюджетные фонды, затраты на командировки и т.д. Прочие затраты рассчитываются как 10% от суммы материальных затрат, затрат на заработную плату и отчислений на социальные нужды, амортизационных отчислений:

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (K_{мат} + K_{ам} + K_{зн} + K_{со}),$$

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (1000,0 + 584,2 + 45888,7 + 13766,6) = 6124 \text{ руб.}$$

6.2.6 Накладные расходы

В стоимости проекта учитываются накладные расходы, включающие в себя затраты на аренду помещений, оплату тепловой и электрической энергии, затраты на ремонт зданий и сооружений, заработную плату административных сотрудников и т.д. Накладные расходы принимаются в размере 200% от затрат на заработную плату.

$$K_{np} = 2 \cdot K_{зн}, \text{ руб.},$$

$$K_{np} = 2 \cdot 45888,7 = 91777,4 \text{ руб.}$$

Общие капитальные вложения в проект составят (формула 31):

$$K_{np} = 1000 + 584,2 + 45888,7 + 13766,6 + 6124 + 91777,4 = 159140,9 \text{ руб.}$$

Результаты расчета приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Смета затрат на проектирование

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты, K_{mat}	1000
Амортизация компьютерной техники, $K_{ам}$	584,2
Затраты на заработную плату, инженера и научного руководителя, $K_{зн}$	45888,7
Затраты на социальные нужды, $K_{со}$	13766,6
Прочие затраты, $K_{пр}$	6124
Накладные расходы, K_{np}	91777,4
Итого, K_{np}	159140,9

6.3 Расчет годовых затрат на существующую систему газоочистки

Стоимость оборудования: 3608000 руб.

Срок службы ЗУУ – 10 лет;

Годовые амортизационные отчисления:

$$A = 3608000/10 = 360800 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт ЗУУ: 501600 руб.

Контроль скважин золоотвала: 427200 руб.

Расход воды на Беловской ГРЭС при проведении мокрой газоочистки – 9,55 м³/ч. Тариф на воду 22,29 руб.

Годовой потребление воды на нужды системы газоочистки:

$$(9,55*24*365)*22,29=1864188 \text{ руб.}$$

Охрана земельных ресурсов: 524400 руб.

Эксплуатационные затраты:

$$C_{\text{экспл}} = Z_{\text{пол}} + Z_{\text{н}}$$

Обслуживание установки – 15 человек

Оклад – 17000 руб/мес

Премия – 60 %

$$Z_{\text{П осн общ}} = (((17000+17000*0,6)*1,3)*15)*12 = 6364800 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата принимается 10 % от основной:

$$Z_{\text{П доп}} = 0,1*6364800 = 636480 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{П осн}} = 6364800 + 636480 = 7001280 \text{ руб.}$$

Общие затраты:

$$Z_{\text{общ}} = 360800 + 501600 + 427200 + 1864188 + 524400 + 7001280 = 10679468 \text{ руб.}$$

Накладные расходы принимаются 15 % от общих затрат:

$$Z_{\text{н}} = 10679468*0,15 = 1601920 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{экспл}} = 10679468 + 1601920 = 12281388 \text{ руб.}$$

6.4 Расчет годовых затрат на новое газоочистное оборудование

При реконструкции золоулавливающей установки Беловской ГРЭС не требуется строительство дополнительных зданий.

Стоимость газоочистного оборудования составляет 2600000 руб.

Затраты на монтаж оборудования принимаем 20% от $C_{\text{об}}$

$$З_{\text{монт}} = 0,2 * Ц_{\text{об}}$$

$$З_{\text{монт}} = 0,2 * 2600000 = 520\ 000 \text{ руб.}$$

Транспортно-заготовительные расходы принимаем 15% от $Ц_{\text{об}}$

$$З_{\text{тр.заг}} = 0,15 * Ц_{\text{об}}$$

$$З_{\text{тр.заг}} = 0,15 * 2600000 = 390\ 000 \text{ руб.}$$

Таблица №16 - Смета затрат на реконструкцию системы газоочистки

Статьи затрат	Сумма затрат, тыс.руб.
Затраты на монтаж оборудования	520
Транспортно-заготовительные расходы	390
Цена оборудования	2600
Итого капитальные вложения	3510

Годовая амортизация составляет:

$$А = 3510000 / 20 = 175500 \text{ руб.}$$

Срок службы оборудования 20 лет.

Годовые затраты на содержание и текущий ремонт составляют 5% от $Ц_{\text{об}}$:

$$З_{\text{содрем}} = 0,05 * 3510000 = 175500 \text{ руб.}$$

Эксплуатационные затраты:

$$С_{\text{экспл}} = З_{\text{пол}} + З_{\text{н}}$$

Обслуживание установки – 8 человек

Оклад – 17000 руб/мес

Премия – 60 %

$$ЗП_{\text{осн общ}} = (((17000 + 17000 * 0,6) * 1,3) * 8) * 12 = 3394560 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата принимается 10 % от основной:

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,1 * 282880 = 339456 \text{ руб}$$

$$ЗП_{\text{пол}} = 3394560 + 339456 = 3734016 \text{ руб.}$$

Общие затраты:

$$З_{\text{общ}} = 175500 + 175500 + 3734016 = 4085016 \text{ руб.}$$

Накладные расходы принимаются 15 % от общих затрат:

$$Z_{\text{н}} = 4085016 * 0,15 = 612752 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{экспл}} = 4085016 + 612752 = 4697768 \text{ руб.}$$

Вывод: Сравнении эксплуатационных затрат системы газоочистки до реконструкции и после показало, что новая установка показывает большую экономическую эффективность и позволяет экономить. В результате данная газопылеочистная установка уменьшает годовые эксплуатационные затраты на 7583620 руб. за счет уменьшения штата сотрудников по обслуживанию установки и удаления ненужных статей расхода (таких как: контроль скважин золоотвала, использование воды, охрана земельных ресурсов).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5БЗБ1	Афанасьеву Сергею Сергеевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	Объектом исследования является система очистки газов на Беловской ГРЭС (пылегазоочистное оборудование)
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность <i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i>	Выявленным вредным факторам может, является: - запыленность; - загазованность; - микроклимат - вибрация; - шум; - ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
<i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i> –	К выявленным опасным факторам могут, является: - термические опасности (ожог); - электробезопасность; - пожарная безопасность; - взрывобезопасность;
2. Экологическая безопасность:	Рассматривается воздействие промышленного оборудования на окружающую среду, человека и общество.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации на цехе сотрудников производства и возможные превентивные меры по предотвращению ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассматриваются правовые и организационные мероприятия по обеспечению безопасности на цехе.

Перечень графического материала:

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Афанасьев Сергей Сергеевич		01.03.18

7. Социальная ответственность

Введение

Во время своей трудовой деятельности человек подвергается воздействию вредных производственных факторов, специфика и количество которых зависит от характера труда. Для предупреждения ухудшения здоровья работника от такого неблагоприятного воздействия на каждом конкретном предприятии или учреждении предусмотрен ряд мер по обеспечению безопасности и экологичности трудовой деятельности.

Вибрация — механические колебания материальных точек или тел.

Источники вибраций: разное производственное оборудование.

Системы вентиляции

Вентиляция — организованный воздухообмен, который обеспечивает удаление из помещения воздуха, загрязненного избыточным теплом и вредными веществами и тем самым нормализует воздушную среду в помещении.

Производственный шум

Шум — сочетание различных по частоте и силе звуков.

Звук — колебания частиц воздушной среды, которые воспринимаются органами слуха человека, в направлении их распространения.

Слышимый шум — 20 - 20000 Гц,

ультразвуковой диапазон — свыше 20 кГц,

инфразвук — меньше 20 Гц,

устойчивый слышимый звук — 1000 Гц - 3000 Гц

Нормирование шума

Нормативным документом является ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ.

1 метод. Нормирование по уровню звука.

2 метод. Нормирование по уровню звукового давления.

По 1 методу дополнительный уровень звука на рабочих местах устанавливается по общему уровню звука, определенного по шкале А шумометра, т.е. на частоте 1000 Гц.

По 2 методу дополнительный уровень звукового давления на рабочих местах (смена 8 ч) устанавливается для октавных полос со средними геометрическими частотами, т.е. нормируется с учетом спектра.

Производственное освещение

Вся информация подается через зрительный анализатор. Вредное воздействие на глаза человека оказывают следующие опасные и вредные производственные факторы:

1. Недостаточное освещение рабочей зоны Повышенная яркость;
2. Перенапряжение анализаторов (в т.ч. зрительных);
3. Недостаточное освещение рабочей зоны;
4. Отсутствие/недостаток естественного света

Естественное освещение

При естественном освещении какой-либо точки горизонтальной плоскости, за основу при нормировании принимается минимально допустимая величина коэффициента естественной освещенности.

Коэффициент естественного освещения (КЕО) = $E = E_{вн}/E_{сн} \cdot 100\%$, где

$E_{вн}$ - освещенность какой-либо точки горизонтальной поверхности, находящейся внутри помещения [лк];

$E_{сн}$ - освещенность какой-либо точки, находящейся снаружи помещения на расстоянии 1 м от здания [лк];

Искусственное освещение — освещение помещения прямым или отраженным светом искусственного источника света.

1. Предупреждение и ликвидация аварий и неполадок в системе

пылеприготовления.

1. Агрегаты системы пылеприготовления необходимо остановить в следующих случаях:

- а) при взрыве пыли в системе пылеприготовления;
- б) при поломке соединительных муфт;
- в) при нагреве подшипников механизма или электродвигателя выше 70° С или при появлении дыма из подшипников;
- г) при появлении запаха дыма или искр из электродвигателя;
- д) при прекращении подачи масла в коренные подшипники мельницы и в подшипники электродвигателя мельницы;
- е) при появлении сильной вибрации или стуков механизмов пылесистемы;
- ж) при загорании угля или пыли в мельнице;
- з) аварийно остановленный или отключившийся механизм пускать до выявления причин, остановка категорически запрещается. При этом пуск установки, отключенной электрической защитой или из-за неполадок электродвигателя разрешается только дежурным инженером станции;
- и) в случае нагрева подшипника горловины мельницы необходимо увеличить подачу масла и охлаждающей воды, а также снизить температуру сушильного агента на входе в мельницу путем открытия рециркуляции и закрытия Ш-2;
- к) при остановке мельницы или МВ из-за исчезновения напряжения следует отключить остановившийся электродвигатель. Масло и вода в этом случае не отключаются, чтобы быстрее подготовить мельницу к пуску после подачи напряжения;
- л) электродвигатель мельницы аварийно останавливается отключением

электродвигателя возбуждателя или от аварийной кнопки.

2. Неполадки, характерные для работы мельниц, мельничных вентиляторов:

а) вибрация ротора МВ может явиться следствием неравномерного износа крыльчатки, высокой температуры всасываемого воздуха, обрыва лопаток или креплений, попадания постороннего предмета. При возникновении вибрации МВ необходимо снизить температуру сушильного агента, если вибрация не уменьшится, доложить об этом начальнику смены;

б) нагрев подшипника выше нормальной температуры может быть вызван следующими причинами:

— недостаточным поступлением или прекращением подачи воды на охлаждение подшипника;

— загрязнением масла или его недостатком;

— вибрацией подшипника;

в) при повышении температуры подшипников МВ необходимо проверить поступление охлаждающей воды на подшипники и в случае необходимости увеличить ее подачу; проверить наличие масла в подшипниках и при необходимости долить масло. Если после принятия мер температура подшипников не снизится, об этом немедленно следует доложить начальнику смены.

3. Признаками перегрузки мельницы топливом являются:

а) снижение температуры аэросмеси за мельницей;

б) увеличение разряжения за мельницей и уменьшение разряжения до мельницы, увеличение перепада разряжений на мельнице;

в) уменьшение величины тока электродвигателя МВ;

г) пыление через входную и выходную горловину мельницы;

д) глухой шум шаров в мельнице.

При обнаружении перегрузки мельницы, угрожающей завалом барабана и горловины необходимо:

а) отключить ЛПСУ;

б) не отключать мельницу, при этом сокращать подачу воздуха в мельницу не следует, т. к. приведет к ухудшению вентиляции барабана и увеличению времени ее расхолощивания. При расхолощивании мельницы необходимо следить за температурой аэросмеси за мельницей, она не должна превышать допустимого предела. При снижении величины сопротивления мельницы до рабочего значения вновь включить ЛПСУ и восстановить нормальный режим работы мельницы.

4. Забивание сепаратора можно определить по следующим признакам:

а) уменьшилось разрежение перед мельницей;

б) уменьшилось разрежение за мельницей;

в) уменьшилось давление на напоре МВ;

г) уменьшился ампераж электродвигателя МВ;

д) не работают мигалки на течке возврата пыли с сепаратора;

е) увеличилась тонина размола угля;

ж) возможно забивание циклона.

В этом случае необходимо остановить пылесистему и очистить сепаратор через люк на течках возврата.

5. Забивание циклона можно определить по следующим признакам:

а) резкое снижение уровня пыли в промбункере;

б) глухой звук при ударе каким-либо предметом по циклону;

в) не работают мигалки под циклоном;

г) при полном заполнении циклона пылью резкое увеличение нагрузки по теплу на котле и увеличенный ампераж электродвигателя мельничного вентилятора.

В этом случае необходимо остановить пылесистему и спустить пыль из циклона в бункер

6. Забивание течки сырого угля:

- а) растет температура за мельницей;
- б) растет разряжение перед мельницей;
- в) падает разряжение за мельницей;
- г) отключается ЛПСУ по блокировке от листа.

В этом случае необходимо закрыть горячий воздух на мельницу, пробить течку отстукиванием кувалдой или пиками через лючки. После чего восстановить нормальный режим работы мельницы.

2. Взрыв в пылесистеме

1. Основным условием для взрыва пыли в пылесистеме является:

- а) высокая температура аэросмеси;
- б) концентрация пыли с воздухом (в одном кубическом метре воздуха 300—500 грамм угольной пыли);
- в) высокое содержание летучих веществ в угольной пыли;
- г) повышенное содержание кислорода в смеси более 16%.

2. Взрыв в пылесистеме может явиться следствием:

- а) повышения температуры аэросмеси;
- б) самовозгорание пыли, отложившейся на горизонтальных участках пылепровода;
- в) загорание отложений угля во входной горловине мельницы;
- г) попадание запала с углем в мельницу.

Примечание: При увеличении содержания O_2 в дымовых газах увеличивается содержание O_2 в пылесистеме.

3. Взрыву в пылесистеме предшествуют хлопки, которые можно

определить по броскам разрядки в пылесистеме и одновременно по броскам разрядки в топке котла.

4. При появлении хлопков или признаков горящих отложений в пылесистеме необходимо:

- а) немедленно удалить людей, находящихся в районе данной мельницы;
- б) прекратить подачу горячего воздуха в мельницу, закрыть Ш-2, Ш-4;
- в) отключить ЛПСУ, мельницу и МВ;
- г) отключить ДГР и закрыть НА, запорный и регулирующий инертных газов, Ш-8 и Ш-7;
- д) включить паротушение мельницы на 25—30 мин;
- е) перед прекращением подачи пара в мельницу остучать мигалки и течи сырого угля, сброса с сепаратора и циклона.

После чего осмотреть пылесистему и удалить отложения.

В случае обнаружения горящих отложений, осмотр прекратить и произвести повторную подачу пара в мельницу.

При поступлении влажного угля и появления признаков забития входной горловины мельницы для осмотра и удаления отложений необходимо:

- а) расхлостить и остановить мельницу, перед остановом остучать ТСУ и мигалку;
- б) пропарить пылесистему в течение 25-30 мин;
- в) осмотр и чистку входной горловины от отложений производить в защитном щитке, в застегнутой спецодежде, стоя в стороне от люка.

3. Неисправности в работе компрессора.

1. Стуки в компрессоре

- 1. Стуки в цилиндре. Заедание поршня и поршневых колец. Сработались поршневые кольца. Установить нормальный режим

охлаждения цилиндров. Заменить масло чистым и свежим.

2. Внезапный сильный удар в цилиндре. Попадание в цилиндр постороннего предмета или воды. Немедленно остановить компрессор. Изъять посторонний предмет, найти причину попаданий и устранить ее.
3. Стуки в клапанах. Поломка клапанной пластины. Ослабление пружины.

2. Уменьшение производительности компрессора

1. Уменьшение числа оборотов компрессора.
2. Сломаны пружины у всасывающих клапанов.
3. Сработалось седло клапана, вследствие чего пластины неплотно прилегают.
4. Попадание между пластинами и седлом посторонних предметов.

Следить, чтобы всасывался чистый воздух. При обтирке клапанов не оставлять концов на стенах всасывающего клапана или в полости клапанной коробки.

5. Заедание поршенька или поломка пружины отжимного устройства.
6. Засорился фильтр засасывающего воздуха.
7. Прорита прокладка уплотнения под клапанной коробкой или в трубопроводе.

3. Прочие неисправности

1. Повышение давления свыше 2,6 атм. в I ступени.
2. Повышение давления в холодильнике ниже 1,9 атм.
3. Повышение температуры выходящего из холодильника воздуха. Падение давления в маслопроводе.

Прочистить, промыть трубную секцию холодильника и проследить за нормальной подачей охлаждающей воды.

Очистить всасывающий и нагнетательный масляный фильтр. Отрегулировать давление перепускным клапаном.

4. Повышение давления в маслопроводе.

Прочистить маслопровод. Залить масло нормальной вязкости. Прочистить отверстия в крайних заглушках вала и у подшипников.

4. Правила техники безопасности при обслуживании компрессоров

1. Все вращающиеся части компрессора, электродвигателя и агрегата возбуждения должны быть закрыты кожухами или ограждениями.
2. Запрещается во время работы машины производить осмотр, ремонт, смазку и чистку движущихся деталей компрессора.
3. При обслуживании, наладке и ремонте электрооборудования компрессора руководствоваться правилами техники безопасности при электромонтажных работах. Работа у станции управления разрешается при условии применения изолирующей подставки или дорожки. На время работы на центральном пункте питания вывешивается табличка «Не включать».
4. Не загромождать проходы к станции управления и возбуждательному агрегату.
5. Все металлические части, нормально не находящиеся под напряжением, как-то: корпуса электрических машин, каркасы станций управления, щит компрессора — должны быть заземлены.
6. Скопление промасленных тряпок и концов около компрессора не допускается.
7. Манометры на компрессоре должны быть опломбированы, проверяться один раз в год.
8. Предохранительные клапаны должны быть опломбированы и опробованы при каждом пуске компрессора.
9. Воспрещается работа компрессора с давлением воздуха, вызывающим непрерывную работу предохранительного клапана высокого давления.
10. Категорически запрещается применять бензин для очистки или промывки картера компрессора, фильтров и других деталей, связанных с

проходом сжимаемого воздуха.

Применять последние — взрывоопасно.

11. При обтирке механизмов запрещается наматывать тряпки или концы на руку, просовывать руку за ограждения.

12. Компрессор должен быть немедленно остановлен в следующих случаях:

- если нагрев каких-либо частей компрессорной установки непрерывно увеличивается и температура их превысила допустимую норму;
- если манометр I и II ступеней показывает давление выше допустимого;
- при внезапном прекращении или уменьшении подачи охлаждающей воды;
- если слышны стуки, удары в компрессоре или в двигателе, или обнаружены в них неисправности, могущие привести к аварии;
- при температуре сжатого воздуха выше предельно допустимой нормы;
- при неисправности системы смазки;
- если приборы указывают на перегрузку электродвигателя;
- при выходе из строя контрольно-измерительных приборов компрессорной установки;
- при отсутствии освещения;
- при пожаре.

5. Эксплуатация золоуловителей

1. Подготовку к пуску ЗУУ необходимо выполнить в такой последовательности

- убедиться в отсутствии людей и посторонних предметов в установке;
- закрыть и загерметизировать все люки и гляделки;
- произвести внешний осмотр ЗУУ, убедиться в отсутствии сквозных отверстий и других возможных мест присосов воздуха;
- осмотреть гидрозатворы и трубопроводы системы орошения ЗУ и убедиться в их исправности, проверить наличие и правильность установки сопел и форсунок орошения;
- проверить исправность контрольно-измерительных приборов;

— проверить давление воды перед гравийными фильтрами (должно быть в пределах 6—8 ати перед фильтрами труб «Вентури»; 4—5 ати перед фильтрами СЦ);

— включение орошения необходимо производить перед растопкой котла.

2. Пуск ЗУУ должен выполняться в такой последовательности:

— открыть запорную арматуру гравийного фильтра, проконтролировать поступление воды в форсунки ТВ, напорный бак, сопла и гидрозатворы СЦ;

— проконтролировать установление режима орошения ТВ и СЦ:

а) давление воды на сопла орошения скрубберов должно поддерживаться 0,1—0,15 кгс/кв. см; расход воды на орошение скрубберов 27—36,5 т/час;

б) давление воды на сопла труб «Вентури» должно поддерживаться 5—6 кгс/кв. см; расход воды на трубы «Вентури» 52—87 т/час;

— вода, подаваемая на орошение, должна очищаться гравийными фильтрами.

Нормальное сопротивление фильтра до 1 кг (по манометрам до и после фильтра). Если сопротивление увеличилось, необходима промывка фильтра.

3. В процессе эксплуатации оперативный персонал должен осуществлять контроль режима работы ЗУУ:

— следить за работой сопел через гляделки и на ощупь (неработающее сопло теплее, чем работающее). Забитые сопла немедленно прочищать;

— следить за работой гидрозатворов, вытекание пульпы из гидрозатвора должно быть непрерывным. Нельзя допускать прекращения подачи орошающей воды, это приведет к забиванию золой трубы «Вентури» и разрушению футеровки золоуловителей;

— следить за работой форсунок и состоянием корпуса установок;

— один раз в неделю обходчики должны промывать гидрозатвор на закрепленных скрубберах;

— минимально допустимая температура газов за скрубберами должна

быть на 15—20°C выше температуры точки росы (температура точки росы при сжигании кузнецкого угля 55°C и составляет 70—75°C).

3.1. Контроль режима должен осуществляться непрерывно по штатным контрольно-измерительным приборам.

Контроль давления воды допускается производить один раз в смену.

3.2 Машинист котла обязан через два часа фиксировать параметры работы золоуловителя в суточную ведомость работы котлоагрегата.

3.3 При отклонении параметров работы ЗУУ от оптимальных сверх допустимых пределов, оговоренных в производственной инструкции, должны приниматься меры по выявлению причин нарушения работы и их устранению.

6.1 Профилактические мероприятия по предупреждению пожара в котлотурбинном цехе.

1. В помещении котлотурбинного цеха запрещается:

- а) курение в котельном отделении;
- б) курение в бункерной галерее;
- в) загромождать проходы и подступы к средствам пожаротушения и связи;
- г) разбрасывать обтирочный материал;
- д) хранить горюче-смазочные материалы;
- е) пользоваться неисправным электроинструментом;
- ж) использовать пожарный инвентарь не по назначению;
- з) допускать скопление пыли на оборудовании и конструкциях.

2. Содержать пожарный инвентарь в исправном состоянии.

3. Не допускать течей масла.

4. Следить за температурой пыли в бункерах и при размоле угля за температурой аэросмеси за мельницей.

5. Не загромождать взрывные клапаны на котле и пылесистеме, содержать их

в исправном состоянии.

6. Следить за исправным состоянием изоляции паропроводов.
7. Регулярно производить уборку оборудования.
8. Не допускать устройства лесов вблизи горячих трубопроводов.
9. Ежедневно убирать промасленный обтирочный материал.
10. При приемке смены проверить наличие и сохранность средств пожаротушения.

Распределение обязанностей и поведение персонала во время пожара:

1. Залогом успешных действий при ликвидации пожара является высокая организованность, отсутствие паники, растерянности, полное использование всех средств пожаротушения.
2. При возникновении пожара первый заметивший загорание должен немедленно сообщить об этом пожарной команде по телефону 112 с последующим извещением НСЦ или ДИС, который в свою очередь сообщает о пожаре руководству станции и проверяет выезд пожарной команды.
3. До прибытия пожарной команды на место пожара дежурный персонал принимает меры по тушению пожара всеми имеющимися средствами пожаротушения.
4. Оборудование, на котором возник пожар, должно быть отключено. Со всех электрических подсоединений, находящихся в зоне пожара, должно быть снято напряжение. Не снимается напряжение со щитов, питающих пожарные насосы пожаротушения трансформаторов. Обязательно должно быть оставлено напряжение на одном из циркуляционных насосов 5Б или 6А.
5. Отключение горящего оборудования и снятие напряжения с электрических подсоединений, находящихся в зоне пожара, может производиться без предварительного получения разрешения вышестоящего лица,

осуществляющего оперативное руководство (ДИС), но с обязательным последующим уведомлением его о произведенных операциях.

6. Единым начальником по организации противопожарных действий на участке пожара является «Руководитель операции по тушению пожара».
7. Руководитель операции по тушению пожара должен проверить выезд пожарной команды, организовать встречу и сопровождение пожарной команды к месту пожара. Указать командиру пожарной команды участок оборудования, отключенного для тушения пожара и оборудования, находящегося в работе.
8. Обращается особое внимание командира пожарной охраны на те участки работающего оборудования, попадание воды на которые недопустимо, во избежание несчастного случая и развития аварии (токоведущие части, находящиеся под напряжением, паропроводы с высокими температурами стенки металла, приборы защиты, органы управления, химические вещества и т. п.).
9. Руководитель вместе с подчиненным персоналом осуществляет непрерывное наблюдение за работой пожарной команды, за безопасностью действий пожарной команды для людей и работающего оборудования. Задачу тушения пожара принимает на себя специализированная противопожарная команда. Руководитель и его персонал должен оказывать помощь пожарной команде, если это не мешает их главной задаче— наблюдению за безопасностью действий пожарной команды для людей и оборудования.
10. Руководитель тушения пожара при необходимости должен привлечь для ликвидации пожара любой персонал, находящийся на территории станции, вызвать необходимый персонал на производство. Все распоряжения руководителя тушения пожара должны выполняться всем персоналом в обязательном порядке.
11. В случае, если руководитель тушения пожара не справляется со своими

обязанностями, начальник цеха или главный инженер имеет право отстранить его и принять руководство тушения пожара на себя с последующей записью в оперативном журнале о времени и причинах отстранения.

12. Руководителем тушения пожара является начальник смены котлотурбинного цеха.

При пожаре на электрооборудовании, кабельном хозяйстве руководителем тушения пожара является начальник смены электроцеха.

13. При возникновении пожара в зоне с постоянным нахождением обслуживающего персонала и создании условий, угрожающих жизни персонала, персонал имеет право покинуть рабочее место только после отключения работающего оборудования и убедившись, что оборудование отключено.

Если оборудование отключить по месту невозможно, или эта попытка оказалась безуспешной, необходимо потребовать от дежурного персонала электроцеха отключить оборудование из распреустройства.

7. Способы тушения пожара

1. Тушение горящих досок, ветоши и т. д.

Тушение горящих тряпок, деревянных досок, не пропитанных бензином, маслом, может производиться водой, огнетушителями ОХЛ-10, песком. Тушение горящих тряпок, пропитанных бензином, маслом производится песком, пенными огнетушителями. Тушение пожара на электродвигателях

При возникновении пожара на электродвигателях, последний должен немедленно быть отключен, закрыть вентиляционные каналы, тушить углекислотными огнетушителями. После отключения кабеля можно тушить водой, пенными огнетушителями.

Примечание: Сразу после ликвидации пожара персонал должен принять меры по уменьшению ущерба от повреждения оборудования (подать масло

на подшипники, включить ВПУ, или ротор поворачивать краном).

1. Тушение пожара на котле

- Тушение разлитого мазута на котле

При загорании разлитого мазута на котле, котел аварийно отключается, затем необходимо прекратить поступление мазута к очагу пожара отключением мазутных насосов, закрытием задвижек у постоянного торца на общих мазутопроводах (с БПГУ-1 или по месту). Тушение мазута производить пенными и углекислотными огнетушителями, песком и смывом мазута водой с отм. «0» в канал ГЗУ. В случае угрозы нагрева несущих колонн и балок их необходимо охлаждать водой.

- Тушение отложений в конвективной шахте

При загорании в конвективной шахте необходимо: аварийно отключить котел отключением дымососа, вызвать пожарную команду, проверить полноту действия защиты, закрыть направляющие аппараты остановленных механизмов, подать пар на паро-тушение конвективной части, открыть пар на мазутные форсунки, проверить плотность закрытия всех люков и лазов, открыть аварийный сброс и делать прокачку корпуса водой, расходом 35—50 т/ч до прекращения горения.

- Тушение отложений в пылесистеме

При загорании отложений в пылесистеме необходимо:

- а) немедленно удалить людей, находящихся в районе данной пылесистемы;
- б) прекратить подачу горячего воздуха в мельницу (закрыть Ш-2);
- в) отключить ЛПСУ, мельницу, МБ;
- г) отключить ДГР, закрыть НА, запорный и регулирующий шибер инертных газов, Ш-8 и Ш-7;
- д) включить паротушение мельниц на 25—30 мин.;
- е) перед прекращением подачи пара в мельницу остучать мигалки и

течку сырого угля, сбросы с сепаратора и циклонов. После чего осмотреть пылесистему и удалить отложения. В случае обнаружения горящих отложений осмотр прекратить и произвести повторную подачу пара в мельницу.

- Тушение масла на маслостанций мельниц и в районе мельниц

При загорании масла на маслостанций мельниц или разлитого в районе мельниц, необходимо отключить мельницы и маслонасосы маслостанций. Приступить к тушению масла песком, пенными и углекислотными огнетушителями.

- Тушение угольной пыли

Тушение горячей пыли в цехе производится распыливающей струей воды (не вызывая ее взвихрения) и песком.

- Тушение пыли в пылевом бункере

При тлении или горении пыли в пылевом бункере необходимо: немедленно увеличить подачу пыли, подняв уровень пыли в нем до наивысшего и продолжать расходовать пыль в топку. Исключить всякую возможность попадания в него воздуха, закрыть отсосы с бункера, перекрыть течку с другой пылесистемы, уплотнять места прохода тросов замера уровня пыли и другие места поступления в бункер воздуха. Если указанные мероприятия не ликвидировали горение или тление, то следует подать в бункер пар.

- Тушение угля в бункерах сырого угля (БСУ)

При обнаружении очагов тления или горения в БСУ необходимо: залить очаг распыленной струей воды, заполнить бункер топливом, ускорить срабатывание топлива из бункера.

- Тушение пожара на мазутонасосной

До прибытия пожарной команды принять меры по тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

1. При пожаре в помещении мазутонасосной.

Первичными средствами пожаротушения (песком, пенными и углекислотными огнетушителями) ликвидировать загорание. Если загорание потушить не удастся, необходимо:

- а) отключить мазутные насосы;
- б) отключить приточную и вытяжную вентиляцию;
- в) закрыть окна и двери;
- г) подать пар на паротушение мазутонасосной;
- д) закрыть задвижки слива и всаса мазутных насосов с бака № 3 (в пристройке 3-го бака);
- е) полностью обесточить сборку мазутонасосной на щите.

2. При пожаре в мазутных баках.

- а) закрыть и уплотнить люка и лазы;
- б) подать пар на паротушение;
- в) прекратить забор и сброс мазута в бак.

3. При пожаре на территории мазутонасосной.

Тушение пожара песком, пенными и углекислотными огнетушителями.

Примечание: При пожаре в цехе на основном и вспомогательном оборудовании или вблизи данного оборудования и угрозе его целостности, данное оборудование должно быть немедленно остановлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена необходимость перевода котлов Беловской ГРЭС на сухую газоочистку.

Был изучен опыт перевода котлов на сухую газоочистку на примере Ярославской ТЭЦ-1, работающей на фрезерном торфе. В целях повышения коэффициента очистки и эксплуатационной надежности аппаратов в Семибратовском филиале НИИОГАЗ был разработан батарейный циклон с частичным отсосом и рециркуляцией потока БЦРН и установлен вместо скрубберов МП-ВТИ. Относительно высокий коэффициент очистки, благоприятные условия для рассеивания вредных выбросов в атмосфере, отсутствие потребности в воде и периодических остановках для чистки обеспечивают батарейным циклоном с рециркуляцией потока эксплуатационные преимущества перед аппаратами мокрой очистки.

Также был проведен анализ процесса очистки газов на Беловской ГРЭС. На Беловской ГРЭС используются аппараты мокрой очистки газов. Установленные на Беловской ГРЭС золоуловители МВ – мокрого типа, предназначены для очистки от золы уходящих дымовых газов при сжигании твердого топлива.

Золоулавливающая установка (ЗУУ) корпуса котла ПК-40-1 состоит из 5 труб «Вентури» и 5 центробежных скрубберов, включенных параллельно по ходу газа и объединенных общей системой орошения, строительными конструкциями и контрольно-измерительными приборами.

Но мокрое обеспыливание дополнительно требует решения задач об очистке вышедшей из системы воды, предотвращения отложений, забивания трактов, коррозии поверхностей оборудования, уменьшении самотяги трубы и рассеивании загрязнений в окружающую среду.

Также было предложено новое техническое решение системы обеспыливания газов на Беловской ГРЭС. Была разработана промышленная

установка, за основу которой принята схема ВРК (с регулировкой потока) и ПЦК, снабженные выносными ЦА с транзит приемниками.

Данную установку можно изготавливать непосредственно на монтажных площадках, она дешевле других и проста в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальдберг А.Ю., Исянов Л.М., Тарат Э.Я.
Технология пылеулавливания. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отделение, 1985. – 192с.
2. Будилов О.И., Заворин А.С. Опыт улучшения экологических характеристик тепловой электростанции. – Томск: Издательство «Красное знамя», 1994. – 100 с.
3. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами: монография / М.В. Василевский – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 249 с.
4. Василевский М.В., Зыков Е.Г.
Расчет эффективности очистки газа в инерционных аппаратах: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 86 с.
5. Ефремов Г.И., Лукачевский Б.П.
Пылеочистка. М.: Химия, 1990. – 72 с.: ил. (Библиотека молодого рабочего).
6. Кропп Л.И., Акбрут А.И.
Золоуловители с трубами Вентури на тепловых электростанциях. М., «Энергия», 1977. – 160 с.: ил.
7. Мальгин А.Д. Очистка дымовых газов котлов, работающих на фрезерном торфе // Электрические станции, 1971. - №2. С. 32 – 34.
8. Папоян Р.П. Оборудование для охраны атмосферного воздуха от промышленной пыли: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 121 с.: ил.
9. Потапов О.П, Кропп Л.Д. Батарейные циклоны. –М.:Энергия, 1977. –152 с.

10. Пугач Л.И. Энергетика и экология: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 504 с. (Серия «Учебники НГТУ»).
11. Разумов И.М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. М., «Химия», 1972. – 240 с.: ил.
12. Рихтер Л.А.
Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с., ил.
13. Рихтер Л.А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. М., «Энергия», 1975. – 312 с.: ил.
14. Ромадин В.П. Пылеприготовление. М., «Госэнергоиздат», 1963. – 514 с.: ил.
15. Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П.
Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. М., «Энергия», 1969. – 456 с.: ил.
16. Скалкин Ф.В. Энергетика и окружающая среда/Ф.В. Скалкин, А.А. Канаев, И.З. Копп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 280 с., ил.
17. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М., «Госэнергоиздат», 1960. – 208 с.: ил.
18. Справочник по золо- и пылеулавливанию/ М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; Под общ. ред. А.А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 312 с., ил.
19. Страус В.
Промышленная очистка газов: Пер. с англ. – м., Химия, 1981. – 616 с.: ил.
20. Техника и технология защиты воздушной среды: Учеб. Пособие для вузов/ В.В. Юшин, В.М. Попов, П.П. Кукин и др. – М.: Высш. шк., 2005 – 391 с.: ил.

21. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник/Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 624 с., ил. – (Теплоэнергетика и теплотехника).
22. Швыдкий В.С., Ладыгичев М. Г. Очистка газов: Справочное издание/ В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.