

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

Институт: Электронного обучения
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Атомных и тепловых электростанций

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛОАГРЕГАТА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

УДК 621.184.8-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б2А1	ГЛАДЫШЕВ Кирилл Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры АТЭС	С.А. Цибульский	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры менеджмента	Н.Г. Кузьмина	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасно- сти жизнедеятельности	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры атомных и тепловых электростанций	М.А. Вагнер	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	А.С. Матвеев	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 140100 «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.

P10	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, 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»**

Институт: Электронного обучения
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН
А.С. Матвеев

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Б2А1	Гладышев Кирилл Игоревич

Тема работы:

Реконструкция котлоагрегата с целью уменьшения вредных выбросов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

03.02.17 609/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

22 июня 2017 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.).

Целью данной работы является исследование замены существующей системы золоулавливания, на более эффективную систему, состоящую из системы электрических фильтров.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(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,

1. Характеристика основного оборудования и основных цехов Кузнецкой ТЭЦ
2. Обоснование реконструкции золоулавливания
Расчет существующей системы золоулавливания и системы золоулавливания с электрофильтрами. Также рассмотреть пути повышения эффективности золоулавливания.
3. Техничко-экономическое обоснование проекта.
4. Влияние модернизации на экологию.
5. Социальная ответственность при проведении работ

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	реконструкции 6. Заключение
--	--------------------------------

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

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

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Кузьмина Н.Г. ст. преподаватель кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Василевский М.В доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Содержание Введение 1. Современные методы очистки дымовых газов 2. Характеристика существующего оборудования основных цехов кузнецкой ТЭЦ 3. Обоснование реконструкции системы золоулавливания кузнецкой ТЭЦ 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность 6. Охрана окружающей среды Заключение Список использованных источников

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26 декабря 2016 года
---	-----------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры АТЭС	Цибульский С.А	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б2А1	Гладышев Кирилл Игоревич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
35Б2А1	Гладышеву Кириллу Игоревичу

Институт	Электронного обучения	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Должностной оклад инженера 17000 р Должностной оклад научного руководителя 17000 р
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизации основных фондов: 20%
3. <i>Социальные отчисления</i>	Социальные отчисления-30% от ФЗП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20 марта 2017
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б2А1	Гладышев К.И.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Б2А1	Гладышев Кирилл Игоревич

Институт	Электронного обучения	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p style="text-align: center;">Исследование методов повышения золоулавливания Кузнецкой ТЭЦ</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: –механические опасности (источники, средства защиты); –термические опасности (источники, средства защиты); –электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); –пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>	<p>1. Вредные и опасные факторы при эксплуатации системы золоулавливания А) шум Б) Освещение цеха 2. Безопасность при работе с сосудами работающими под давлением 3. Пожарная безопасность при эксплуатации системы золоулавливания Электробезопасность</p>
<p>2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p style="text-align: center;">Охрана окружающей среды</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	

<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Требования безопасности в аварийных ситуациях</p>
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20 марта 2017
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б2А1	Гладышев Кирилл Игоревич		

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЭФ-электрофильтр;

КА-котлоагрегат;

КУ-котельная установка;

КПД-коэффициент полезного действия;

НУВ-нормативные удельные выбросы;

ПДК-предельно допустимая концентрация;

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	11
ВВЕДЕНИЕ	12
1 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ	14
1.1 Золоулавливание.....	15
1.2 Сероочистка дымовых газов.....	17
1.3 Азотоочистка.....	19
1.4 Одновременная очистка дымовых газов от нескольких загрязнителей	21
2 ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ЦЕХОВ КУЗНЕЦКОЙ ТЭЦ.....	24
3 ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ КУЗНЕЦКОЙ ТЭЦ.....	27
3.1 Экологическая ситуация в городе	27
3.2 Система золоулавливания Кузнецкой ТЭЦ.....	27
3.3 Расчёт котлоагрегата при сжигании угля.....	29
3.4 Расход топлива на станции	30
3.5 Расчет выбросов в окружающую среду	33
3.6 Расчет скруббера Вентури	36
3.7 Возможные пути реконструкции системы мокрого золоулавливания.....	41
3.8 Расчет электрофильтра	43
3.9 Пути повышения эффективности электрофильтра.....	45
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	47
4.1 Планирование НИР	47
4.2 Смета затрат на разработку проекта	48
4.3 Смета с затратами на оборудование.....	52
4.4 Расчет экономического эффекта от реконструкции	52
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	55
6 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	74

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 77 с., 9 рис., 8 табл.,
37 источников, _____ прил.

Ключевые слова: КОТЕЛ, СКРУББЕР, ТРУБА ВЕНТУРИ, ЭЛЕКТРОФИЛЬТР, ПАР, ЗОЛА, ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЕ.

Цель работы – Представить вариант реконструкции золоулавливающего оборудования котельных агрегатов Кузнецкой ТЭЦ.

В процессе исследования проводились: расчет топлива на котлы, расчет скруббера и трубы Вентури, выбросы, НУВ, ПДК. Проведен расчет затрат на исследование затрат на реконструкцию системы золоулавливания.

В результате расчета определено, что КПД электрофильтра значительно выше КПД мокрого золоулавливания.

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие научно-технического прогресса на рубеже XX/XXI веков привело к значительному увеличению потребления энергоресурсов. На фоне увеличивающегося потребления каменного угля остро встает вопрос о защите атмосферного воздуха от загрязнения твердыми сажными и зольными частицами.

Надежность и эффективность работы систем пыле- и золоулавливания зависит от физико-химических свойств частиц, термодинамических параметров пылегазовой среды. Концентрация твердых частиц в дымовых газах, дисперсность уноса из котла зависит от технологических параметров проведения процесса сжигание топлива, особенностей оборудования, например, от вида топлива, способа пылеприготовления, методов его сжигания, конструктивных характеристик топочных устройств, совершенства ведения топочного процесса, вида топливоиспользующей установки и режима ее работы. Энергетические установки имеют переменный режим работы, т.е. переменные концентрации, расходы дымовых газов при изменении расхода топлива. Для котлов со слоевым сжиганием топлива характерна переменная во времени концентрация частиц в потоке дымового газа из-за неравномерности подачи топлива при механической загрузке, а также в топках с шурующей планкой. При проектировании и модернизации пыле- и золоулавливающего оборудования часто компоновочные соображения (размещение оборудования) являются основным звеном в принятии решения выбора метода обеспыливания и аппаратурного оформления необходимой системы газоочистки.

Актуальность темы исследования обусловлена существованием экологической проблемы, связанной с вредными выбросами в атмосферу. К примеру за 2016 года, выбросы золы на Кузнецкой ТЭЦ в четыре раза больше ПДК [25].

Целью данной работы является исследование замены существующей системы золоулавливания, на более эффективную систему, состоящую из

системы электрических фильтров. По конструктивному исполнению электрические фильтры подразделяются на три основных вида: однозонные, двухзонные и электростатические. Однозонные фильтры, как правило, применяются для очистки воздуха от промышленных газов, в металлургической, химической и строительной промышленности.

Двухзонные используются в системах кондиционирования для очистки приточного и рециркуляционного воздуха в производственных зданиях и в помещениях.

Электростатические, в отличие от однозонных и двухзонных электрических фильтров, работают без зоны искусственной зарядки частиц, используя естественный заряд аэрозольных частиц.

По сравнению с традиционными механическими и мокрой системы золоулавливания, которые неспособны улавливать частицы золы менее 0,1 мкм, в электростатических фильтрах на помощь приходят сила, которая притягивает электрические заряды противоположных знаков. Для того чтобы поймать мельчайшие частицы золы, их пропускают сквозь сильное электрическое поле, где они ионизируются (т.е. приобретают электрический заряд), после чего зола сама притягивается к пластинам, имеющим заряд противоположного знака.

Задачи работы:

1. Определить объемы сжигаемого угля на Кузнецкой ТЭЦ.
2. Проверить КПД мокрой золоулавливающей установки при максимальном объеме газа
3. Проверить КПД электрофильтра при максимальном объеме газа.
4. Рассмотреть пути повышения эффективности электрофильтров и существующей золоулавливающей установки.

1 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Интенсивное использование ископаемого органического топлива (угля, нефти, природного газа) в XX веке привело к загрязнению окружающей среды оксидами серы (SO₂) и азота (NO_x), а также твердыми зольными частицами, в состав которых входят соединения тяжелых металлов и конденсированные ароматические органические системы, обладающие канцерогенными свойствами. Эти токсичные вещества вызывают гибель растений и подавляют их рост, способствуют увеличению числа заболеваний дыхательной системы у людей и животных. В атмосфере оксиды серы и азота вследствие фотохимических процессов превращаются в высшие оксиды, являющиеся причиной кислотных дождей, из-за которых разрушаются сооружения из известняка и мрамора, закисляются почвы, повышается коррозионный износ материалов.

Во всех промышленно развитых странах, в том числе в России, установлены низкие значения предельно допустимых концентраций (ПДК) летучей золы, оксидов серы и азота в воздухе (таблица 1.1), причем их нижние пределы периодически пересматриваются в сторону уменьшения.

Таблица 1.1 -Предельно допустимые концентрации зольных частиц, оксидов серы и азота в воздухе, мг/м³, нормативы

Вредные вещества	1970	1990	2005	2017
Оксиды серы	10	0,5	-	-
Монооксид азота	30	0,4	-	-
Диоксид азота	9	0,085	-	-
Угольная зола		0,15	0,04- 0,05	0,01

Примерно 1/3 часть всех вредных выбросов приходится на долю тепловых электростанций [1] (остальными источниками выбросов являются транспорт и промышленные предприятия). При сжигании угля на ТЭС мощностью 1000 МВт в год образуется 138 тыс. т SO₂, 21 тыс. т NO_x и 7 тыс.т.

зола [2]. В большинстве стран мира приняты законодательные меры, призванные ограничить выброс вредных веществ в атмосферу электростанциями.

С 1 января 2005 г. на территории России в соответствии с решениями Европейской комиссии вдвое снижены допустимые пределы по выбросам (ПДВ) летучей зола, оксидов серы и азота для установок тепловых электростанций мощностью более 50 МВт.

Следует отметить, что в США уже вступили в действие новые нормативы, предписывающие снижение в уходящих газах пылеугольных котлов концентраций зольных частиц до 4 мг/м³, SO₂ — до 75—150 мг/м³, NO_x — до 30—100 мг/м³. В Японии аналогичные стандарты действуют уже с 80-х годов прошлого века. К 2050 г. предполагается уменьшить мировые выбросы вредных веществ тепловыми электростанциями до значений, близких к нулевым.

1.1 Золоулавливание

Очистку дымовых газов от твердых зольных частиц проводят на ТЭС с 30-х годов прошлого века. Сегодня системы золоулавливания являются обязательным оборудованием пылеугольных и мазутных котельных установок.

Для очистки дымовых газов от твердых зольных частиц используют электростатические фильтры [11], рукавные тканевые фильтры [12] и "мокрые" золоуловители на основе скрубберов Вентури (с интенсивным орошением и кольцевые эмульгаторы) [13, 14]. Все эти системы обеспечивают требуемую современным стандартом России чистоту дымовых газов, но наиболее глубокой степени очистки удается достичь при комбинировании электростатического фильтра с рукавным фильтром [15] или с кольцевым эмульгатором [16].

В таблице 1.2 приведены современные методы золоулавливания на тепловых электростанциях

Таблица 1.2- современные методы золоулавливания на тепловых электростанциях

Методы золоулавливания	Степень снижения выбросов зольных частиц, %	Концентрация летучей золы в дымовых газах, мг/м ³
		98,6-99,8* 99,9**
Электростатические фильтры	98,6-99,8	25-30
Рукавные тканевые фильтры	99,9	До 10
Скрубберы Вентури с интенсивным орошением	99,0-99,5	До 25
Кольцевые эмульгаторы	99,0-99,5	До 10
Электростатический фильтр+ рукавный фильтр	99,9	4-5
Электростатический фильтр+ кольцевой эмульгатор	99,9	4-5

*Стандарт России. **Стандарт США.

Для повышения эффективности работы электростатического фильтра прибегают к кондиционированию дымовых газов (их обработке перед фильтром). Для снижения электрического сопротивления золы в дымовые газы либо добавляют небольшие количества SO_3 , сульфата аммония, аммиака, либо в дымовых газах конвертируют SO_2 в SO_3 (с использованием катализатора или под действием импульсного коронного разряда). В настоящее время в мире эксплуатируются более 40 котельных установок общей мощностью 66800 МВт, оборудованных системами кондиционирования [17]. Использование систем кондиционирования газов позволяет на 30—40 % сократить объем средств, затрачиваемых на сооружение электростатических фильтров. В последние годы в связи с появлением новых технологий сжигания угля (в циркулирующем кипящем слое — ЦКС) создаются фильтры для очистки горячих газов. Эти новые фильтры изготавливают из керамических материалов, выдерживающих агрессивные среды и высокие температуры (выше 900 °С) [18]. Такие фильтры (из пенной керамики с добавками соединений кремния) способны автоматически очищаться в процессе эксплуатации, так как задержанные сажевые частицы сгорают на поверхности фильтра. Известны керамические

фильтры двух модификаций: первая — представляет собой систему "обращенных" свечей, где фильтрация осуществляется на внутренней поверхности тонкостенных трубчатых керамических элементов, заключенных в металлический кожух; вторая — построена из плоских керамических пластин. Керамические фильтры устанавливаются либо непосредственно на выходе горячих газов из котла с ЦКС (в газоходе под давлением), либо после циклона при включении бай-пасом к циклонной системе. Основными разработчиками керамических фильтров являются фирмы Германии и Японии.

1.2 Сероочистка дымовых газов

Активное внедрение установок сероочистки на ТЭС началось в конце 80-х — начале 90-х годов прошлого столетия после принятия в большинстве промышленно развитых стран законодательных мер, ограничивающих выбросы SO_2 до уровня 400 мг/м³. Сегодня в мире функционирует более 700 десульфуризационных установок (ДСУ) [19]. В России же действуют всего три системы сероочистки. Это объясняется тем, что в нашей стране новый стандарт на выбросы SO_2 , аналогичный мировым нормативам, вступил в действие только в 2000 г., и поэтому процесс оснащения ТЭС системами сероочистки только начинается.

Технологии сероочистки принято делить на мокрые, мокросухие и сухие. В основе методов мокрой сероочистки лежит хемосорбция SO_2 щелочными растворами или водными суспензиями, содержащими соединения со свойствами основания (известняк, известь, аммиак, доломит, кальцинированная сода, карбонат натрия, щелочные сточные воды). Для хемосорбции оксида серы применяют также морскую воду [21], поскольку она содержит карбонат и гидрокарбонат натрия, имеющие свойства оснований.

В России разработана и в промышленном масштабе отработана (на ТЭЦ г. Дорогобуж) аммиачная технология, обеспечивающая 98%-ную сероочистку и производящая в качестве побочного продукта сульфат аммония (эффективное

минеральное удобрение). В мировой же практике наибольшее распространение получила мокроизвестняковая технология — промывка дымовых газов в скруббере водно-известняковой суспензией. Современные мокроизвестняковые ДСУ очищают дымовые газы от SO_2 на 95—99 % и производят в качестве побочного продукта высококачественный гипс, который используют в производстве строительных материалов, а также в цементной промышленности и для рекультивации угольных разрезов. Сегодня это наиболее отработанная, эффективная и надежная технология сероочистки, на ее долю приходится 90 % всех мокрых ДСУ [20]. Мокроизвестняковыми ДСУ оснащены многие ТЭС в Японии, Центральной и Западной Европе. Идет их активное строительство на электростанциях в США и странах Восточной Европы. Подобная установка работает в России на Рязанской ГРЭС. Основными разработчиками и поставщиками мокроизвестняковых ДСУ являются фирмы Германии и Японии.

Мокроизвестняковые ДСУ устанавливаются на тепловых электростанциях, использующих высокосернистое топливо, или на энергоблоках мощностью более 200 МВт, т. е. применяются для обработки больших объемов дымовых газов и газов с высоким содержанием SO_2 (до 2—4 об. %). В остальных случаях (на небольших электростанциях или на ТЭС, работающих на топливе с содержанием серы 0,5—1,0 мас. %) используют, как правило, более дешевые мокросухие или сухие технологии сероочистки.

Вторыми по распространенности после мокрых методов сероочистки являются мокросухие системы с распыливанием натрийсодержащих или известковых суспензий (распылительные сушилки). Такими десульфуризационными системами оборудованы около 20% действующих электростанций в мире [19]. Согласно этой технологии, для очистки дымовых газов от оксида серы в горячий газовый поток вводят абсорбент, чаще всего водную суспензию извести. Известь связывает SO_2 . После испарения воды образуются сухие продукты — сульфит и сульфат кальция. Расположенный за реактором электростатический или рукавный фильтр улавливает сухие соли вместе с летучей золой, имеющейся в дымовых газах, причем на большой

поверхности рукавного фильтра протекает дальнейшая абсорбция [19]. В результате этого улавливается 80—90 % оксида серы [19]. Сухие отходы распылительных сушилок используют в строительстве и в качестве удобрения. Помимо распылительных сушилок известны также мокросухие технологии с использованием реактора с кипящим слоем (где горячие дымовые газы поступают в нижнюю часть специального реактора с кипящим слоем инертного материала, а выше подачи газов, сбоку, в кипящий слой вдувается известняковая водная эмульсия для связывания SO_2) [23]. Предложено также совмещать золоулавливание с сероочисткой и перед электрофильтром впрыскивать водную суспензию извести (технология E-SOx) [23].

Самая малозатратная технология сероочистки, используемая сегодня на пылеугольных ТЭС, основана на введении сухого сорбента, чаще всего известняка, непосредственно в топку [19]. При высоких температурах известняк кальцинируется, а освобождающаяся при этом известь связывает образующийся при сгорании угля оксид серы. Наибольший эффект дает присадка известняка в циркулирующий кипящий слой. Этот метод сероочистки в последнее время активно внедряется на электростанциях и начинает конкурировать на мировом рынке с мокроизвестняковыми системами. Главными поставщиками систем ДСУ с ЦКС являются немецкие фирмы Wulff GmbH (Хусум) и Zurgi GmbH (Франкфурт-на-Майне).

1.3 Азотоочистка

С середины 80-х — начала 90-х годов прошлого века помимо сероочистки и золоулавливания на ТЭС проводят очистку дымовых газов от оксидов азота (денитрификацию). Сегодня на ТЭС эксплуатируется свыше 500 азотоочистных установок, причем их используют, как правило, в сочетании с первичными методами подавления образования NO_x в процессе горения топлива. Наиболее широко азотоочистные системы применяют на электростанциях в Японии,

Германии, Австрии, Дании, Швейцарии, Швеции, Нидерландах и США. Азотоочистные установки используют как на котельных агрегатах, сжигающих угольное и мазутное топливо, так и на газовых турбинах, расположенных в экологически напряженных районах (в крупных городах).

В предстоящие годы предполагается дальнейшее активное внедрение технологий денитрификации дымовых газов на ТЭС. Так, США планируют в ближайшие 10 лет ввести в эксплуатацию 2003 установки по азотоочистке. Существуют несколько инвестиционных проектов по установке денитрификационных систем на электростанциях России. Например, Мосэнерго планирует внедрить технологии азотоочистки на энергоблоках ТЭЦ-21, -22, -23, а на пяти блоках ТЭЦ-27 денитрификационные установки уже действуют. Всего на территории России в настоящее время работает около 10 азотоочистных систем. В настоящее время для очистки дымовых газов от оксидов азота на электростанциях применяются технологии преимущественно двух типов — селективное некаталитическое восстановление NO_x (СНКВ) и селективное каталитическое восстановление NO_x (СКВ) аммиаком или его производными. Кроме того, ожидается скорое появление на рынках Европы и США новой технологии — селективного автокаталитического восстановления NO_x аммиаком, недавно разработанной японской компанией Mitsui Babcock [25].

Перечисленные технологии основаны на реакциях восстановления оксидов азота аммиаком до молекулярного азота и воды. В последние годы вместо NH_3 используют его производные — мочевины, аммонийные соли неорганических и органических кислот, которые превращаются в NH_3 . При использовании методов СНКВ и автокаталитического восстановления NO_x процесс осуществляют в газовой фазе при температурах, превышающих 800°C , а в случае применения метода СКВ восстановление оксидов азота проводят на поверхности гетерогенных катализаторов при температурах в диапазоне $200\text{—}500^\circ\text{C}$.

1.4 Одновременная очистка дымовых газов от нескольких загрязнителей

Сегодня на большинстве ТЭС, оборудованных газоочистными сооружениями, золоулавливание, денитрификацию и десульфуризацию дымовых газов проводят отдельно (в разных аппаратах). Вследствие этого газоочистка является громоздким и дорогостоящим процессом, причем более 60 % расходов приходится на долю сероочистки. В последние годы в ряде стран (в Японии, США, Германии, России, Польше и др.) ведется разработка новых методов и аппаратов, рассчитанных на одновременную очистку дымовых газов от нескольких загрязнителей. Новые технологии более компактны и менее затратны. В таблице 1.3 приведены технико-экономические показатели одновременной очистки дымовых газов ТЭС.

Таблица 1.3 - Технико-экономические показатели одновременной очистки дымовых газов ТЭС

Метод очистки	Степень снижения выбросов, %		Капитальные затраты, дол. США/кВт	Эксплуатационные расходы, цент/(кВт·ч)	Побочные продукты
	NO _x	SO ₂			
СКВ с аммиаком и мокроизвестняковая сероочистка	80-95	95-99	320	2,4	Гипс
СНКВ с аммиаком и мокроизвестняковая сероочистка	50-80	95-99	240	1,7	-
«Мокрая» каталитическая очистка с применением хелатов металлов	90	80-85	1/8 часть затрат на СКВ		-
Адсорбционно-восстановительная очистка с использованием углеродных адсорбентов	80	90-95	220-240	1,8	Сера, серная кислота
Процесс фирмы «Парсонс»	99	99			Сера
Адсорбция цеолитами (Co/ZSM-5)	93	80	-	-	-
Процесс Pahl man	99	96	-	-	-
Адсорбционно-восстановительная каталитическая очистка	70-90	90-99	228	2,0	Сера, CO ₂
Процесс NOXSO	70-90	95-98	247	0,85	Сера, сульфат и нитрат аммония
Процесс «Эбара» (электронно-лучевая очистка)	80-85	90-95	246	1,3	То же
Очистка в импульсном коронном коронном разряде	До 82	95	132		-
Озонно-аммиачная и озонно-карбамидная	60-80	90-97	-	-	-

Среди способов комбинированной очистки газов от оксидов азота и серы в настоящее время наиболее отработан метод электронно-лучевой очистки ("Эбара"-процесс). В связи с этим крупными пилотными "Эбара"-установками оснащены некоторые ТЭС в Японии, Польше, Болгарии и Китае. В России опытно-промышленная установка электронно-лучевой очистки производительностью 30000 м³/ч запущена на ТЭЦ-15 Ленэнерго. Строительство еще одной "Эбара"-установки ведется на Черепетской ГРЭС. Помимо методов комбинированной очистки продуктов сгорания топлива от оксидов серы и азота ведется разработка процессов одновременного удаления из дымовых газов трех и более загрязнителей [оксидов серы и азота, летучей золы, а также (в ряде процессов) паров ртути, хлороводорода, CO₂]. Например, недавно французские специалисты запатентовали технологию с замораживанием дымового газа, позволяющую одновременно удалять из газа твердые зольные частицы, NO_x, SO₂, CO₂ и пары ртути [30]. Известна также технология американской фирмы "Бабкок-Вилкокс" (SNRB-процесс), в которой используется рукавный фильтр с каталитическим покрытием, предназначенный для восстановления NO_x и улавливания золы, а перед этим фильтром в дымовые газы инжeksiруется сорбент на основе кальция или натрия для улавливания SO_x и аммиака для восстановления NO_x. Наиболее же перспективной на сегодняшний день считается система электрокаталитического окисления (ЕСО), позволяющая одновременно улавливать более 95 % SO₂, более 90 % NO_x, 81 % паров ртути, 99,9 % твердых зольных частиц [31]. Система ЕСО включает: газовый реактор, где NO превращается в NO₂ и азотную кислоту, а ртуть — в оксид ртути; мокрый электрофильтр, в котором улавливаются кислотный туман и другие мельчайшие частицы; утилизатор побочных продуктов, в котором обрабатываются стоки из мокрого электрофильтра с получением гранулированного удобрения. Технология была испытана на пылеугольной ТЭС RE Burger (г. Акрон, США) на пилотной установке мощностью 1—2 МВт.

В настоящее время на ТЭС RE Burger работает промышленно-демонстрационная установка ЕСО эквивалентной мощностью 50 МВт.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ЦЕХОВ КУЗНЕЦКОЙ ТЭЦ

Как отмечалось выше, станция состоит из пяти основных цехов: ЦТП, КЦ, ТЦ, ЭЦ, ХЦ. Рассмотрим оборудование каждого цеха в отдельности.

В КЦ находятся 14 котлоагрегатов [7].

1. Котельный агрегат типа ЛОПУЛЬКО (котлы №5,6,7,8) однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией предназначен для получения перегретого пара при сжигании кузнецкого угля марки «СС» и оборудован средствами автоматического регулирования, технологических защит и сигнализации.

Номинальные значения основных параметров котла:

- производительность по перегретому пару - 68 т/ч;
- температура перегретого пара - 488 °С;
- давление перегретого пара на выходе – 6,3 МПа;
- температура питательной воды - 110°С;
- КПД котла 90 %.

2. Котельный агрегат типа ТП-170 (котлы №15 - №16) Котел двухбарабанный, вертикально-водотрубный, радиационный с естественной циркуляцией и с предвключенным разделительным барабаном. Он состоит из топочной камеры, являющейся восходящим газоходом и опускной конвективной шахты, разделенной на два газохода.

Котел спроектирован для работы со следующими параметрами:

- производительность по перегретому пару – 170 т/ч;
- давление перегретого пара за паровой задвижкой – 9,8 МПа ;
- температура перегретого пара – 510°С;

3. Котельный агрегат типа БКЗ-210-140 (котлы №7 - №13) однобарабанный вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией, при сухом шлакоудалении, предназначен для сжигания кузнецкого каменного угля марки СС и Т первой группы окисленности.

Котел спроектирован для работы со следующими параметрами:

- производительность по перегретому пару – 210 т/ч;
- давление перегретого пара за паровой задвижкой – 9,8 МПа ;
- температура питательной воды – 230°С;
- температура перегретого пара – 540°С;

Система технического водоснабжения – прямоточная, с забором воды из реки Томь посредством водозаборного ковша. Подвод воды на конденсаторы турбин электростанции обеспечивается путем забора необходимого расхода воды из водозаборного ковша, расположенного на берегу реки Томь, береговой насосной станцией (БНС №1) и подачи этого расхода на электростанцию с использованием напорных стальных циркуляционных водоводов. Отвод охлаждающей воды от конденсаторов осуществляется по закрытым железобетонным каналам.

Сброс отработанной воды осуществляется открытым каналом в пруд-охладитель.

Водозабор пресной воды для подпитки котлов и водоподготовки расположен на р. Томь.

Установленная электрическая мощность турбоагрегатов Кузнецкой ТЭЦ составляет 108 МВт [7]. Характеристика турбоагрегатов Кузнецкой ТЭЦ представлена в таблице 2.1 . Характеристика котлоагрегатов Кузнецкой ТЭЦ представлена в таблице 2.2

Таблица 2.1- Турбоагрегаты Кузнецкой ТЭЦ

Тип и стационарный № агрегата	Мощность агрегата электрическая, кВт	Число часов работы в год	Выработка электроэнергии тыс. кВт
№3 Р-12-3,4/0,1	12 000	3800	45 600
№ 4 Р-12-35/5м	12 000	3720	44 640
№ 6 ПТР-30-2,9/0,6	30 000	6900	207 000
№9 Р-12-90/18м	10 000	3820	38 200
№11 Т-20-90	20 000	6950	139 000
№12 Р-12-8,8/3,1м	12 000	3867	46 404
№ 13 Р-12-90/31м	12 000	3964	47 568
ИТОГО	108 000	33021	568 412

Таблица 2.2-Котлоагрегаты Кузнецкой ТЭЦ

Ст. №	Тип и марка оборудования	Давление, кгс/см ²	Температура пара, сетевой воды°С	Паропроизводительность, т/ч, Гкал/ч	Год ввода в эксплуатацию
5	Лопулько	64	488	68	1947
6	Лопулько	64	488	68	1947
7	Лопулько	64	488	68	1947
8	Лопулько	64	488	68	1948
15	ТП-170	100	510	170	1954
16	ТП-170	100	510	170	1954
17	БКЗ-220-100	100	540	220	1966
18	БКЗ-220-100	100	540	220	1969
ВК-1	КВТК-100-150	24	150	100	1989
ВК-2	КВТК-100-150	24	150	100	1990
ПК-3	Е-160-1,4-250 КБТ	14	250	95	1999
ПК-4	Е-160-1,4-250 КБТ	14	250	95	2003

3 ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ КУЗНЕЦКОЙ ТЭЦ

3.1 Экологическая ситуация в городе

Экологическая ситуация в городе неблагоприятна. Особенно серьезно загрязнение воздуха. Среднее за год превышение ПДК в 2016 году: бензопирен — в 4,6 раза, формальдегид — в 3 раза, фторид водорода — в 1,4 раза, диоксид азота — в 1,2 раза. Атмосфера города запылена, средняя концентрация взвешенных веществ в 2016 году составила — 1,5 ПДК. [8].

Подавляющий вклад в загрязнение вносят заводы черной металлургии — 73%, доля предприятий угольной промышленности составляет 9,5%, энергетики — 8,5 %, цветной металлургии — 5,7 % [8].

66,7 % всех выбросов в атмосферу приходится на ОАО ЗСМК (включая Западно-Сибирскую ТЭЦ), другие крупные загрязнители воздуха — шахта Абашевская (10,3 %), Новокузнецкий алюминиевый завод (5,8 %), предприятия бывшего КМК (4%), Абагурская аглофабрика (3,6%), Кузнецкая ТЭЦ (2,9 %), ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (2,8%). Наибольший объем выбросов загрязняющих веществ по энергетике наблюдается в кузнецком районе города, где находится АО «Кузнецкая ТЭЦ» [7].

3.2 Система золоулавливания Кузнецкой ТЭЦ

Способ улавливания – мокрый.

Состоит из труб Вентури и полого форсуночного скруббера, представляющего собой колонку круглого сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыляемой форсунками. В каждой трубе Вентури установлены форсунки. Орошение скрубберов осуществляется типовыми тангенциальными форсунками. Форма

горловины труб Вентури – прямоугольная Расположение труб Вентури – слабонаклонное.

На золоулавливающих установках смонтированы акустические системы интенсификации золоулавливания, состоящие из акустических резонаторов (по 2 шт. на каждую трубу Вентури внешнего исполнения) с подводом горячего воздуха от котла. Регулирование подачи воздуха осуществляется специальными шиберами. В таблице 3.1 приведена техническая характеристика мокрой золоулавливающей установки.

Таблица 3.1- Техническая характеристика мокрой золоулавливающей установки

Технические характеристики	3 оч.	5 оч.	6 оч.	ПК
Число скрубберов на котел, шт	2	4	4	4
Тип скрубберов	МВ-УО ОРГРЭС	МВ-УО ОРГРЭС	МВ-УО ОРГРЭС	БЦ-512-4(12x8) и МВ-ИРО
Внутренний диаметр каплеуловит. мм	2300	2300	2700	2500
Высота каплеуловителя, м	7 960	7 960	9240	6340
Внутр. диаметр горловины тр.Вентури, мм	700x480	500x680	1080x466	670
Производит.одного ЗУ, м ³ /с	18,7	20,15	27	18,01
Сопла одного каплеуловителя:				
количество, шт	18	18	20	18
диаметр, мм	6	6	6	10
Форсунки для орошения труб Вентури:				
внутренний диаметр, мм	12	15	12	14
количество на одну горловину,шт	1	1	2	1
Кол-во газов, отходящих от котлоагр. подлежащих очистке, м ³ /ч	153420	289800	387000	259300
Температура газов перед установкой, °С	175	146	144	170
то же, после установки, °С	94	100	83	76
Сопротивление установки, кг с/м ²	98	93	75	140
Степень очистки газов, %	97,2	96-98	96-98	99,1
Расход воды на орошение каплеуловит.т/ч	14,7	25	28	96
Расход воды на трубы Вентури т/ч	14,7	30	35	9,6

Система золоулавливания Кузнецкой ТЭЦ достаточна неэффективна.

3.3 Расчёт котлоагрегата при сжигании угля

Состав топлива, используемый на станции представлен в таблице 3.2

Таблица 3.2 – состав топлива

Q_p^u , МДж/кг	W_p , %	A_p , %	S_{k+op}^p , %	C^p , %	H^p , %	N^p+O^p , %
21,9	11,5	15,9	0,4	56,4	4	11,8

3.3.1 Теоретическое количество воздуха для полного сгорания твердого топлива (при $\alpha=1$):

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S_{k+op}^p) + 0,265 \cdot H^p - 0,0333 \cdot O^p =$$

$$= 0,0889 \cdot (56,4 + 0,4 \cdot 0,9) + 0,265 \cdot 4 - 0,0333 \cdot 9,9 = 5,776 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (1)$$

3.3.2 Теоретические минимальные объёмы продуктов сгорания при полном сгорании топлива с $\alpha=1$:

теоретический объём азота:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot N^p / 100 = 0,79 \cdot 5,776 + 0,8 \cdot 1,9 / 100 = 4,58 \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (2)$$

теоретический объём трёхатомных газов:

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{C^p + 0,375 \cdot S_{k+op}^p}{100} = 1,866 \cdot \frac{56,4 + 0,375 \cdot 0,4}{100} = 1,055 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3)$$

теоретический объём водяных паров:

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^0 = 0,111 \cdot 4 + 0,0124 \cdot 11,5 + 0,0161 \cdot 5,776 =$$

$$= 0,679 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (4)$$

При избытке воздуха $\alpha > 1$ (принимаем $\alpha = 1,03$) объём водяных паров:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0 = 0,679 + 0,0161 \cdot (1,03 - 1) \cdot 5,776 = 0,682 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (5)$$

объём дымовых газов:

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0 =$$

$$= 1,055 + 4,58 + 0,602 + (1,03 - 1) \cdot 5,776 = 6,488 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6)$$

Объёмные доли трёхатомных газов и водяных паров соответственно:

$$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_r \quad r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_r \quad (7)$$

Суммарная объёмная доля: $r_{\text{п}} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}$.

Результаты расчётов по пункту 3.3 сведём в таблицу 3.3

Таблица 3.3- Расчёт котлоагрегата при сжигании угля

Величина	Размерность	Газоходы			
		$\alpha_{\text{T}}=1,03$	$\alpha_{\text{пш}}=1,06$	$\alpha_{\text{вз}}=1,08$	$\alpha_{\text{рп}}=1,28$
среднее знач. α в газоходах	–	1,03	1,045	1,07	1,18
$(\alpha-1) \cdot V^0$	м3/кг	0,173289	0,259933	0,40434	1,039733
$V_{\text{H}_2\text{O}}$	м3/кг	0,68179	0,683185	0,68551	0,695739
V_{T}	м3/кг	6,488319	6,316425	6,31875	6,328979
r_{RO_2}	–	0,1626	0,167025	0,16696	0,166694
$r_{\text{H}_2\text{O}}$	–	0,10508	0,10816	0,10849	0,109929
$r_{\text{п}}$	–	0,267679	0,275185	0,27545	0,276623
G_{T}	кг/кг	8,611155	8,724313	8,91291	9,742731

3.4 Расход топлива на станции

3.4.1 Расход тепла в парогенераторах на выработку пара, идущего на турбины

$$Q_{\text{пр}} = \frac{(\sum D_{\text{турбины}}) \cdot 1000}{3600} \cdot (1,04 \cdot (h_o - h_{\text{нс}}) + 0,03 \cdot (h_o - h_{\text{нс}})) \quad (8)$$

$$Q_{\text{пр}}^{P-12-3,4} = \frac{(72,6) \cdot 1000}{3600} \cdot ((1,04 \cdot (3316 - 417,4) + 0,03 \cdot (1042 - 417,4))) = 61,17 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{пр}}^{\text{ППР-30-2,9}} = \frac{(145) \cdot 1000}{3600} \cdot ((1,04 \cdot (3233 - 953,2) + 0,03 \cdot (999,5 - 808,3))) = 101,8 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{пр}}^{P-12-3,5-5,м} = \frac{(100) \cdot 1000}{3600} \cdot ((1,04 \cdot (3316 - 640,2) + 0,03 \cdot (1042 - 640,2))) = 77,6 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{пр}}^{P-12-90-18} = \frac{(126,8) \cdot 1000}{3600} \cdot ((1,04 \cdot (3475 - 884,6) + 0,03 \cdot (1364 - 884,6))) = 95,4 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{пр}}^{T-20-90} = \frac{(120) \cdot 1000}{3600} \cdot (1,04 \cdot (3475 - 811) + 0,03 \cdot (1362 - 811)) = 95,6 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{пр}}^{P-12-90} = \frac{(182,4) \cdot 1000}{3600} \cdot ((1,04 \cdot (3475 - 1017)) + 0,03 \cdot (1364 - 1017)) = 130 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{пр}}^{P-12-8,8} = \frac{(182,4) \cdot 1000}{3600} \cdot ((1,04 \cdot (3475 - 1017)) + 0,03 \cdot (1364 - 1017)) = 130 \text{ МВт};$$

3.4.1.2 Расход топлива на парогенераторы

$$B = \frac{3600 \cdot Q_{\text{пр}}^T}{1000 \cdot Q_{\text{H}}^P \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (9)$$

$$B^{P-12-3,4} = \frac{3600 \cdot 61,17}{1000 \cdot 21,9 \cdot 0,92} = 10,92 \frac{\text{тонн}}{\text{час}}$$

$$B^{\text{ПТР-30}} = \frac{3600 \cdot 101,8}{1000 \cdot 21,9 \cdot 0,92} = 18,19 \frac{\text{тонн}}{\text{час}}$$

$$B^{P-12-3,5} = \frac{3600 \cdot 77,6}{1000 \cdot 21,9 \cdot 0,92} = 13,86 \frac{\text{тонн}}{\text{час}};$$

$$B^{P-12-90-18} = \frac{3600 \cdot 126,8}{1000 \cdot 21,9 \cdot 0,92} = 22,6 \frac{\text{тонн}}{\text{час}};$$

$$B^{T-20-90} = \frac{3600 \cdot 92,5}{1000 \cdot 21,9 \cdot 0,92} = 16,52 \frac{\text{тонн}}{\text{час}};$$

$$B^{P-12-90} = \frac{3600 \cdot 130}{1000 \cdot 21,9 \cdot 0,92} = 23,27 \frac{\text{тонн}}{\text{час}}$$

$$B^{P-12-8,8} = \frac{3600 \cdot 130}{1000 \cdot 21,9 \cdot 0,92} = 23,27 \frac{\text{тонн}}{\text{час}};$$

3.4.1.3 Расход газов после котлов по очередям

$$V_{\text{Г}} = \sum B_{\text{Г}} \cdot V_{\text{Г}0} \quad (10)$$

Третья очередь котлы Лопульки (питает турбины P-12/3,4-0,1, P-12-35/5м, ПТР-30-2,9/0,6)

$$\begin{aligned} V_{\text{Г}3} &= \sum B_{\text{Г}} \cdot V_{\text{Г}0} = (B^{P-12-3,4} + B^{P-12-35/5M} + B^{\text{ПТР-30}}) \cdot V_{\text{Г}0} \cdot 1000 = \\ &= (10,92 + 18,19 + 13,86) \cdot 6,33 \cdot 1000 = 272000 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \end{aligned}$$

Пятая очередь котлы ТП-170 (питает турбины P-12-90/18м, Т-20-90)

$$V_{\Gamma} = \sum B_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma_0} = (B^{P-12-90/18,м} + B^{T-20-90}) \cdot V_{\Gamma_0} \cdot 1000 =$$

$$= (22,6 + 16,52) \cdot 6,33 \cdot 1000 = 247620 \frac{м^3}{с}$$

Шестая очередь котлы БКЗ-220 (питает турбины Р-12-8,8/3,1м, Р-12-90/31м)

$$V_{\Gamma} = \sum B_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma_0} = (B^{P-12-8,8/3,1м} + B^{P-12-90/31}) \cdot V_{\Gamma_0} \cdot 1000 =$$

$$= (23,27 + 23,27) \cdot 6,33 \cdot 1000 = 294500 \frac{м^3}{с}$$

- доля золы топлива в уносе Азл составляет 5 %

- содержание горючих веществ в уносе золы (Гзл) составляет 5,5 %

- содержание горючих веществ в шлаке (Гшл) составляет 4,5 %

$$M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (3очередь)}} = \frac{(B^{P-12-3,4} + B^{P-12-35/5M} + B^{\text{ПТР-30}}) \cdot A_P \cdot A_{3Л}}{(100 - \Gamma_{3Л})100} = \frac{(10,92 + 18,19 + 13,86) \cdot 15,9 \cdot 95}{(100 - 5,5)100}$$

$$= 6868 \frac{кг}{час}$$

$$M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (5очередь)}} = \frac{(B^{P-12-90/18,м} + B^{T-20-90}) \cdot A_P \cdot A_{3Л}}{(100 - \Gamma_{3Л})100} = \frac{(22,6 + 16,52) \cdot 15,9 \cdot 95}{(100 - 5,5)100} = 6253 \frac{кг}{час}$$

$$M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (6очередь)}} = \frac{(B^{P-12-8,8/3,1м} + B^{P-12-90/31}) \cdot A_P \cdot A_{3Л}}{(100 - \Gamma_{3Л})100} = \frac{(23,27 + 23,27) \cdot 15,9 \cdot 95}{(100 - 5,5)100} = 7439 \frac{кг}{год}$$

$$M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (3очередь)}} = \frac{(B^{P-12-3,4} \cdot h_{yP-12} + B^{P-12-35/5M} \cdot h_{yP-12} + B^{\text{ПТР-30}} \cdot h_{y\text{ПТР-30}}) \cdot A_P \cdot A_{3Л}}{(100 - \Gamma_{3Л})100}$$

$$= \frac{(10,92 \cdot 3800 + 18,19 \cdot 3720 + 13,86 \cdot 6900) \cdot 15,9 \cdot 95}{(100 - 5,5)100} = 32767 \frac{м}{год}$$

$$M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (5очередь)}} = \frac{(B^{P-12-90/18,м} \cdot h_{yP-12} + B^{T-20-90} \cdot h_{yT-20}) \cdot A_P \cdot A_{3Л}}{(100 - \Gamma_{3Л})100}$$

$$= \frac{(22,6 \cdot 3820 + 16,52 \cdot 6950) \cdot 15,9 \cdot 95}{(100 - 5,5)100} = 32183 \frac{м}{год}$$

$$M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (6очередь)}} = \frac{(B^{P-12-8,8/3,1м} \cdot h_{yP-12} + B^{P-12-90/31} \cdot h_{yP-12}) \cdot A_P \cdot A_{3Л}}{(100 - \Gamma_{3Л})100}$$

$$= \frac{(23,27 \cdot 3867 + 23,27 \cdot 3867) \cdot 15,9 \cdot 95}{(100 - 5,5)100} = 28795 \frac{м}{год}$$

Общая масса золы

$$M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ}} = M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (бочердь)}} + M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (Зочередь)}} + M_{\text{ЗОЛЫ}}^{\text{ОБЩАЯ (бочердь)}} \\ = 32767 + 28795 + 32183 = 93745 \frac{m}{\text{год}} \quad (12)$$

Концентрация золы в дымовых газах до реконструкции

$$C_{\text{ЗОЛЫ}}^{(\text{Зочередь})} = \frac{M_{\text{ЗОЛЫ}}^{(\text{Зочередь})} \cdot 1000}{V_{\text{з3}}} = \frac{6868 \cdot 1000}{272000} = 25,25 \frac{г}{\text{м}^3} \\ C_{\text{ЗОЛЫ}}^{(\text{Бочердь})} = \frac{M_{\text{ЗОЛЫ}}^{(\text{Бочердь})} \cdot 1000}{V_{\text{з5}}} = \frac{6253 \cdot 1000}{247620} = 25,25 \frac{г}{\text{м}^3} \\ C_{\text{ЗОЛЫ}}^{(\text{Бочердь})} = \frac{M_{\text{ЗОЛЫ}}^{(\text{Бочердь})} \cdot 1000}{V_{\text{з5}}} = \frac{7439 \cdot 1000}{294500} = 25,25 \frac{г}{\text{м}^3} \quad (13)$$

3.5 Расчет выбросов в окружающую среду

3.5.1 Расчет массы золы перед золоуловителем

Максимальный выброс твердых частиц от котлоагрегата определяется по формуле

Зола от котлов третьей очереди

$$M_z^I = B \cdot \frac{A_p}{100 - \Gamma} \cdot \alpha_{\text{ун}} (1 - \eta) = 32767 \cdot \left(\frac{15,9}{100 - 5,5} \right) \cdot 0,95(1 - 0,96) = 209 \frac{m}{\text{год}} \quad (14)$$

Зола от котлов пятой очереди

$$M_z^I = B \cdot \frac{A_p}{100 - \Gamma} \cdot \alpha_{\text{ун}} (1 - \eta) = 32183 \cdot \left(\frac{15,9}{100 - 5,5} \right) \cdot 0,95(1 - 0,96) = 205,7 \frac{m}{\text{год}}$$

Зола от котлов пятой очереди

$$M_z^I = B \cdot \frac{A_p}{100 - \Gamma} \cdot \alpha_{\text{ун}} (1 - \eta) = 28795 \cdot \left(\frac{15,9}{100 - 5,5} \right) \cdot 0,95(1 - 0,96) = 184 \frac{m}{\text{год}}$$

Нормативы удельных выбросов по массовому выбросу твердых частиц
5,86 кг/т.ут

$$m_{\text{уд}} = M_{\text{зоб}} / V_{\text{общ}} = 598700 / 93745 = 6,38 \text{ кг/т.ут}$$

Допустимый массовый выброс твердых частиц по НУВ составляет 5,86 кг/ т.у.т .

Поэтому исходя из расчета и из общей экологической ситуации

города нужно реконструировать систему золоулавливания. Так как сейчас на станции стоит мокрое золоулавливание, то чтобы повысить КПД золоулавливающей установки, добавим к нему циклон.

3.5.2 Суммарное количество окислов азота, выбрасываемого в атмосферу с дымовыми газами, г/с:

$$M_{NO_x} = 0,034\beta_1 K(B) Q_H^p (1 - 10 \cdot \beta_2)(1 - \eta_{NO_x}), \quad (15)$$

где n – количество котлов,

η_{NO_x} – КПД систем подавления окислов азота ($\eta_{NO_x}=0,4$)

β_1 – поправочный коэффициент ($\beta_1=1$)

β_2 – коэффициент, который учитывает вид топлива и равен 0,02 – при сжигании газа;

K – параметр, который учитывает паропроизводительность котлоагрегата (для паровых котлов) и определяется:

для паровых котлов – как:

$$K = \frac{12D_{пе}}{200 + D_{пе}}, \quad (16)$$

где $D_{пе}$, т/ч – паропроизводительность парогенератора

$$K = \frac{12 \cdot 984}{200 + 984} = 10$$

$$M_{NO_x} = 0,034 \cdot 1 \cdot 10 \cdot (21,9) 128,63 (1 - 10 \cdot 0,02)(1 - 0,4) = 259 \text{ г/с}$$

при выбросах окислов азота

Минимально допустимая высота источника рассеивания (при которой максимальная концентрация каждого вещества не должна превышать соответствующую ПДК_{М.Р.}), м:

$$H = M \left(\frac{M_{NO_x}}{ПДК_{NO_x} - C_{NO_x}^\Phi} \right)^{0,5} = 2,09 \left(\frac{259}{0,085 - 0,0255} \right)^{0,5} = 137 \text{ м} \quad (17)$$

Не превышает

Здесь $C_{NO_x}^\Phi$ - фоновая концентрация, которые учитываются

для ГРЭС, сооружающихся в городах и принимаются равными (0,2...0,3)ПДК соответствующих загрязнений.

$$ПДК_{NO_x} = 0,085$$

$$C_{NO_x}^{\Phi} = 0,0255$$

Параметр М:

$$M = \left[AFmn \sqrt[3]{\frac{z}{V(t_r - t_*)}} \right]^{0,5} = \left[200 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \sqrt[3]{\frac{3}{1181(154 + 20)}} \right]^{0,5} = 2,09 \quad (18)$$

где z, шт – суммарное число стволов ($z=1$);

A – коэффициент, учитывающий район строительства и для Новокузнецка равен 200;

F – коэффициент, учитывающий вид загрязнений и при выбросах азота равен 1;

m и n – коэффициенты, учитывающие скорость выхода дымовых газов из устья трубы и для принятых в расчете ω_0 равны 0,9 и 1 соответственно;

$t_r, ^\circ\text{C}$ – температура дымовых газов на выходе из устья источника рассеивания, $t_r=154 ^\circ\text{C}$;

$t_*, ^\circ\text{C}$ – средняя температура самого холодного месяца, для Новокузнецка равна ($-20 ^\circ\text{C}$);

V, $\text{м}^3/\text{с}$ – суммарный объемный расход газов при номинальной нагрузке всех парогенераторов:

$$V = K_3(B) \left[V_r^0 + (\alpha_{yx} - 1)V^0 \right] \cdot \frac{t_r + 273}{273} \quad (19)$$

$$V = 1,05 \cdot (128,63) \cdot [6,3289 + 1,0397] \cdot \frac{51,1 + 273}{273} = 1181 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Массовый выброс окислов азота

$$m_{NO} = \frac{M_{NO_x}}{B} = \frac{0,259 \cdot 3600}{128,63} = 7,24 \quad (20)$$

$7,24 < 7,33$ по нормативам удельных выбросов, реконструкция

системы очистки от окислов азота не требуется

3.6 Расчет скруббера Вентури

Скруббер Вентури – турбулентный пылеуловитель – это агрегат, составленный из последовательно соединенных: турбулентного промывателя (трубы Вентури) и инерционного пыле- и брызгоуловителя или мокрого прямооточного циклона [7].

Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури) - представляют собой трубу Вентури, движущийся в ней с высокой скоростью газовый поток дробит орошающую его жидкость на капли, на которых осаждаются пыль и, образуется шлам, удаляемый из аппарата [7].

Принцип работы скруббера следующий. Очищаемый газ поступает в приемный цилиндр и направляется в трубу Вентури. На входе трубы расположена форсунка. В форсунке центробежным насосом под давлением 300-500 кПа подается вода, которая распыляется и захватывает частички пыли, очищая тем самым газ, после чего сливается в отстойник. В отстойнике частицы пыли осаждаются на дно и периодически удаляются [7].

Вода к центробежному насосу поступает через водяной затвор отстойника. Очищенный газ через циклон-каплеуловитель направляется дальше по технологическому циклу. Запыленный газ вводится в конфузор трубы Вентури, в котором скорость газового потока увеличивается по мере уменьшения поперечного сечения и достигает 150 м/с. На некотором расстоянии от горловины в конфузор через сопло подается вода под давлением 80 ... 1000 кПа, которая в турбулентном потоке газа распыляется на мельчайшие капельки и интенсивно перемешивается с частицами пыли, смачивая и укрупняя их. В диффузоре скорость потока падает, при этом происходит дальнейшая коагуляция пыли и ее выделение в ударно – инерционном пылеуловителе или в мокром прямооточном циклоне.

Производительность скрубберов Вентури колеблется в широких пределах и достигает $250000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Аппараты мокрой очистки работают по принципу осаждения частиц пыли либо на поверхность капель жидкости, либо на поверхность пленки жидкости. Осаждение частиц пыли на жидкость происходит под действием сил инерции и броуновского движения. Силы инерции действуют на частицы пыли и капли воды при их сближении. Эти силы зависят от массы капель и частиц, а так же от скорости их движения. Кроме этого на процесс осаждения влияют турбулентная диффузия, взаимодействие электрически заряженных частиц, процессы конденсации, испарения и др. Важным фактором, влияющим на эффективность мокрых пылеуловителей, является смачиваемость частиц жидкостью (чем лучше смачиваемость, тем эффективнее процесс очистки) [7].

Скруббер Вентури относится к мокрым пылеуловителям. Они имеют широкое распространение, т.к. характеризуются высокой эффективностью очистки от мелкодисперсной пыли ($0,3-1,0 \text{ мкм}$), а также возможностью очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов. Однако они обладают и рядом недостатков, что ограничивает область их применения: образование в процессе очистки шламов, что требует специальных систем для его переработки; вынос влаги в атмосферу и образование отложений в отводящих газоотводах при охлаждении газов до точки росы; необходимость создания оборотных систем подачи воды в пылеуловитель.

Расчет скруббера определяется геометрическими параметрами трубы Вентури. Схема скруббера Вентури представлена на рис.3.1.

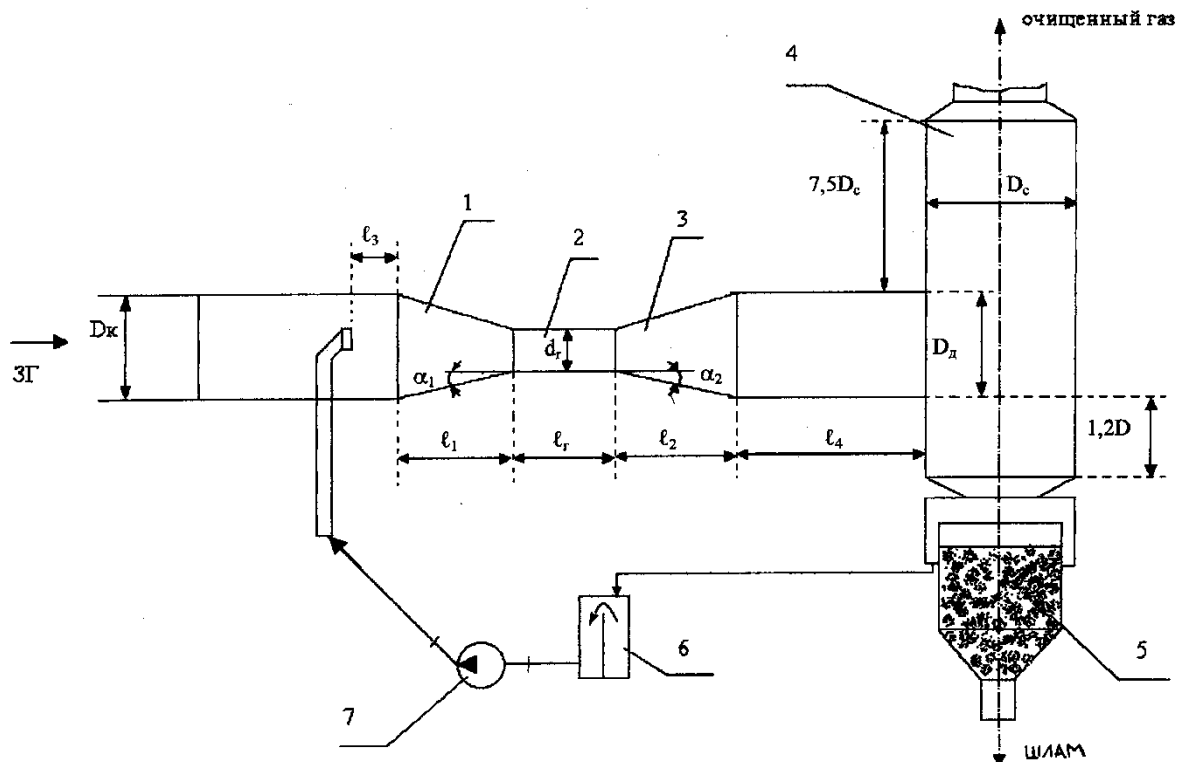


Рисунок 3.1 – Схема скруббера Вентури

1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор; 4 – скруббер центробежного типа (сепаратор); 5 – отстойник; 6 – бак для осветления жидкости; 7 – насос.

Исходные данные:

- расход газов при нормальных условиях $V_0 = 68000 \text{ м}^3 / \text{ч}$;
- температура газов $t_1 = 175 \text{ }^\circ\text{C}$;
- разрежение перед газоочисткой $p_1 = 5 \text{ кПа}$;
- плотность газа при нормальных условиях $\rho_0 = 1,29 \text{ кг} / \text{м}^3$;
- концентрация пыли в газе на входе в газоочистку $z_1 = 25,25 \text{ г} / \text{м}^3$;
- напор поступающей на орошение воды $p_{\text{жс}} = 300 \text{ кПа}$;

Расчет ведем по методике [32, стр 81-86]

Зависимость между степенью очистки газа и затратами энергии на его очистку выражается формулой :

$$\eta = 1 - \exp(-BK^x),$$

где B и x – константы, зависящие от вида пыли,

K – расход энергии на очистку газа, $\text{кДж} / 1000 \text{ м}^3$ газа.

В интервале высоких значений степени очистки газа (0,98–0,99) ее изменения ощутимы мало и в рассматриваемом случае целесообразно использовать понятие числа единиц переноса, аналогичное применяемому в технологических процессах, связанных с тепло- и массообменом.

Число единиц переноса:

$$N = 1n \frac{1}{1-\eta} = 1n \frac{1}{1-0,98} = 3,92. \quad (21)$$

Из сопоставления двух последних выражений следует, что $N = BK^x$.

В рассматриваемом случае $3,92 = 1,562 \cdot 10^{-6} K^{1,619}$, откуда $K = 8950 \text{ кДж} / 1000 \text{ м}^3$ газа.

Общее гидравлическое сопротивление скруббера Вентури из формулы

$$\Delta p_{an} = K - p_{жс} m = 8950 - 300000 \cdot 0,001 = 8650 \text{ Па}. \quad (22)$$

Здесь удельный расход жидкости, m , орошающей газ, принят равным $0,001 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ газа.

Плотность газа на входе в скруббер Вентури:

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{273(101,3 - p_1)}{(273 + t_1)101,3} = 1,29 \frac{273(101,3 - 5)}{(273 + 175)101,3} = 0,747 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (24)$$

Объемный расход поступающего на очистку газа при рабочих условиях:

$$V_1 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_1} = 68000 \frac{1,29}{0,747} = 117429 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (25)$$

Расход орошающей жидкости (воды):

$$M = mV_1 = 0,001 \cdot 117429 = 117,42 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (26)$$

Гидравлическое сопротивление циклона-каплеуловителя на основании опыта работы аналогичных установок принимаем $\Delta p_{\kappa} = 100 \text{ Па}$.

Гидравлическое сопротивление трубы-распылителя (трубы Вентури) определяем по формуле :

$$\Delta p_{mp} = \Delta p_{an} - \Delta p_{\kappa} = 8650 - 100 = 8550 \text{ Па} \quad (27)$$

Температура газов на выходе из скруббера Вентури:

$$t_2 = (0,133 - 41m)t_1 + 35 = (0,133 - 41 \cdot 0,001) \cdot 175 + 35 = 51,1 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (28)$$

Что хорошо согласуется с опытом работы промышленных установок (50–55°С).

Плотность газов на выходе из трубы Вентури:

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273(101,3 - p_1 - \Delta p_{mp})}{(273 + t_2)101,3} = 1,29 \frac{273(101,3 - 5 - 8,55)}{(273 + 51,1)101,3} = 0,88 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Коэффициент сопротивления трубы Вентури, обусловленный вводом орошающей жидкости:

$$\xi_2 = A\xi_1 m^{1+c} \quad (29)$$

Для трубы Вентури оптимальной конфигурации с центральным подводом орошающей жидкости значение коэффициента гидравлического сопротивления сухой (не орошаемой) трубы $\xi_1 = 0,15$, а эмпирические коэффициенты $A = 0,63$; $1 + c = -0,3$.

$$\text{В рассматриваемом случае } \xi_2 = 0,63 \cdot 0,15 \cdot 0,001^{-0,3} = 0,75$$

Необходимую скорость газа в горловине трубы Вентури определяем по формуле (V.16):

$$u_2 = \left(\frac{2\Delta p_{mp}}{\xi_1 p_2 + \xi_2 m p_{жс}} \right)^{0,5} = \left(\frac{2 \cdot 8550}{0,15 \cdot 0,88 + 0,75 \cdot 1000 \cdot 0,001} \right)^{0,5} = 139,2 \text{ м} / \text{с} \quad (30)$$

Объемный расход газа на выходе из трубы Вентури:

$$V_2 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_2} = \frac{68000 \cdot 1,29}{3600 \cdot 0,88} = 27,689 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (31)$$

Диаметр горловины трубы Вентури:

$$d_2 = 1,13 \left(\frac{V_2}{u_2} \right)^{0,5} = 1,13 \left(\frac{27,689}{139,2} \right)^{0,5} = 0,48 \text{ м} \quad (32)$$

Принимаем диаметр горловины трубы Вентури равным 480 мм. Скорость газа в горловине трубы в этом случае составит:

$$u_2 = \frac{1,13^2 V_2}{n d_2^2} = \frac{1,13^2 \cdot 27,689}{0,37^2} = 139,5 \text{ м/с} \quad (33)$$

Принимаем скорость газа на входе в конфузор и на выходе из диффузора трубы Вентури равной 20 м/с. При этой скорости диаметр входного сечения конфузора:

$$d_1 = 1,13 \left(\frac{V_1}{n u_1} \right)^{0,5} = 1,13 \left(\frac{117429}{3600 \cdot 20} \right)^{0,5} = 1,35 \text{ м} \quad (34)$$

а диаметр выходного сечения диффузора:

$$d_3 = 1,13 \left(\frac{V_2}{n u_3} \right)^{0,5} = 1,13 \left(\frac{27,689}{20} \right)^{0,5} = 1,33 \text{ м} \quad (35)$$

С аэродинамической точки зрения оптимальным являются угол сужения конфузора $\alpha_1 = 25 - 28^\circ$ и угол раскрытия диффузора $\alpha_2 = 6 - 7^\circ$. Длину горловины принимаем:

Эффективность очистки определяется по формуле

$$\eta = 1 - e^{-(B \cdot E)^n} = 1 - e^{-0,1 \cdot (901110)^{0,28}} = 0,95 \quad (36)$$

где В и n - коэффициенты, В = 0,1; n = 0,28.

$$E = 901110 \text{ Па,}$$

3.7 Возможные пути реконструкции системы мокрого золоулавливания

Результаты теоретических исследований и имеющийся практический опыт по оптимизации процесса пылезолоулавливания в скрубберах большой единичной производительности позволяют предложить следующие пути решения поставленной задачи.

1. Обеспечение равной плотности орошения (1 м^3 жидкости на 1 м^3 очищаемого газа) в зоне контакта газовой и жидкой фаз. Суть проблемы состоит в том, что в скрубберах большой единичной производительности и габаритов, как правило, существует неравномерное поле скоростей

запыленного газа в зоне контакта с каплями распыленной жидкости. При фиксированном расходе орошающей жидкости наиболее рационально в этом случае с точки зрения экономии энергозатрат на газоочистку и повышения ее эффективности не выравнивание поля скоростей запыленного газа изменением трассы подводных газопроводов, установки газораспределительных решеток и др., а приведение плотности орошения в соответствие с фактическим полем скоростей запыленного потока. В настоящее время имеется практический положительный результат, полученный в этом направлении [32], где описан опыт разработки и эксплуатации форсуночных коллекторов, устанавливаемых перед горловиной трубы-коагулятора скруббера Вентури большого сечения и обеспечивающих неравномерную плотность орошения в соответствии с существующим распределением скоростей запыленного газа. Внедрение указанной разработки позволило при том же объеме орошающей жидкости повысить КПД золоуловителя на 4 - 5% [32].

2. Обеспечение оптимального давления орошающей жидкости в зоне ее контакта с запыленным газом. В орошаемых газоочистных аппаратах, к которым относятся скрубберы Вентури и др., распыление жидкости осуществляется в попутный поток очищаемого газа. При этом основным механизмом пылеулавливания является инерционный захват пылевых частиц каплями жидкости, эффективность которого определяется критерием Стокса.

3. Определение минимально достаточного орошения внутренней поверхности скрубберов. В ряде конструкций скрубберов улавливание пылевых частиц осуществляется пленкой жидкости, образующейся при орошении внутренней поверхности аппарата. В частности, такой механизм пылеулавливания используется в мокрых центробежных скрубберах (циклоны с водяной пленкой, выносной каплеуловитель скруббера Вентури и др.). Как правило, орошение стенок пылеулавливающего аппарата необходимо для устойчивой работы всей технологической линии, предшествующей пылеуловителю. Так, например, образующиеся при сжигании твердого топлива на теплоэлектростанциях золовые частицы, обладая вязкими свойствами, при

смачивании могут создавать устойчивые отложения на внутренней поверхности газоходов и пылеуловителей. При этом увеличивается аэродинамическое сопротивление газового тракта котлоагрегата и нарушается его режим работы. Для предотвращения этого нежелательного явления стенки каплеуловителя скруббера Вентури, используемого в качестве золоуловителя на теплоэлектростанциях, омываются жидкостной пленкой, что обеспечивает непрерывное удаление частиц золы и устойчивую работу системы газоочистки котлоагрегата в целом.

3.8 Расчет электрофильтра

Расчет ведем по методике [5]

Исходные данные:

Размер частиц в потоке газа лежит в диапазоне 5 мкм...40 мкм

Температура уходящих газов: 120 °С

Объем очищаемого потока газа: $V_r = 68000 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$;

Определяем величину скорости дрейфа частиц размером 5 и 40 мкм.

Напряженность электрического поля в ходе очистки примем равной 300000

Вт/м, что характерно для электрофильтров сухой очистки:

$$\omega_d(5) = 0,059 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{E^2 \cdot d_{ч}}{\mu} = 0,059 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{300000^2 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2,25 \cdot 10^{-5}} = 0,118 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (37)$$

$$\omega_d(40) = 0,059 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{E^2 \cdot d_{ч}}{\mu} = 0,059 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{300000^2 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{2,25 \cdot 10^{-5}} = 0,944 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

где $\mu = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ - динамическая вязкость газа при рабочей температуре;

Определяем время, необходимое для осаждения частиц размером 5мкм, так как они имеют в 8 раз меньшую скорость дрейфа.

Скорость газа в активном сечении $\omega_r = 1 \text{ м/с}$.

Предварительно выбираем электрофильтр типа ЭГАВ с расстоянием между коронирующим и осадительным электродами $\delta=150 \text{ мм}$, путем движения запыленного потока в электрофильтре равным $l = 8,5 \text{ м}$

Расчет τ_{oc} проводим по формуле:

$$\tau_{oc} = \frac{\delta}{\omega_d(5)} = \frac{0,15}{0,118} = 1,127 \text{ с} \quad (38)$$

Определяем необходимую величину активного сечения электрофильтра:

$$S = \frac{V_{\Gamma}}{3600 \cdot \omega_{\Gamma}} = \frac{68000}{3600 \cdot 1} = 18,9 \text{ м}^2 \quad (39)$$

По найденной величине активного сечения из каталога выбираем электрофильтр ЭГАВ1-14-7,5-6-3 (1 – количество секций; 10 – количество газовых проходов; 7,5 – высота электродов, м; 4 – количество элементов в осадительном электроде; 4 – количество электродных полей) с фактической площадью активного сечения 27,8 м² и площадью осаждения $F_{oc} = 1656 \text{ м}^2$.

Удельная поверхность осаждения электрофильтра:

$$f^{БКЗ-220} = \frac{F_{OC}}{V^{БКЗ-220}} = \frac{1656}{18,9} = 87,6 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3 \cdot \text{с}} \quad (40)$$

Степень очистки сушильного агента в данном электрофильтре определяем по уравнению:

$$\varepsilon = ((1 - \exp(-\omega_{\Gamma} \cdot f)) = ((1 - \exp(-1 \cdot 87,6)) = 99,6 \% \quad (41)$$

Проверяем необходимое условие осаждения частиц в данном электрофильтре. Средняя скорость движения в электрофильтре с горизонтальным движением потока запыленного газа лежит в пределах 0,5...1 м/с. Для проверки необходимого условия осаждения примем верхний предел скорости движения газового потока, тогда

$$\tau_{\Pi} = \frac{l}{\omega_2} = \frac{7,68}{1} = 7,68 \text{ с} \quad (42)$$

Таким образом, $\tau_{oc} < \tau_{\Pi}$, что говорит о том, что фильтр выбран правильно.

Годовой улов золы до реконструкции:

$$M_{\text{зо́лы}} = \eta \cdot M_{\text{зо́лы}}^{\text{ОБЩАЯ}} = 93745 \cdot 0,95 = 89057 \text{ т} \quad (43)$$

$$M_{\text{зо́лы}} = \eta \cdot M_{\text{зо́лы}}^{\text{ОБЩАЯ}} = 93745 \cdot 0,996 = 93370 \text{ т}$$

Годовой выход шлаков

$$M_{\text{шл}}^{\text{ОБЩАЯ}} = \frac{B_{\text{ГОД}} \cdot A_{\text{Р}} \cdot A_{\text{шл}}}{(100 - \Gamma_{\text{шл}})100} = \frac{499818 \cdot 15,9 \cdot 5}{(100 - 4,5)100} = 4160 \text{ т}$$

Концентрация золы в дымовых газах до реконструкции

$$C_{\text{зо́лы}} = \frac{M_{\text{зо́лы}} \cdot 1000}{V_2} = \frac{4687 \cdot 1000}{814120} = 5,75 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

Концентрация золы в дымовых газах после реконструкции

$$C_{\text{зо́лы}} = \frac{M_{\text{зо́лы}} \cdot 1000}{V_2} = \frac{375 \cdot 1000}{814120} = 0,46 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

Нормативы удельных выбросов по массовому выбросу твердых частиц
5,86 кг/т.ут

До реконструкции: $m_{\text{уд}} = M_{\text{зоб}}/V_{\text{общ}} = 4687000/499818 = 9,37 \text{ кг/т.ут}$

После реконструкции: $m_{\text{уд}} = M_{\text{зоб}}/V_{\text{общ}} = 375000/499818 = 0,75 \text{ кг/т.ут}$

Допустимый массовый выброс твердых частиц по НУВ составляет 5,86 кг/ т.у.т.

3.9 Пути повышения эффективности электрофильтра

В ФГУП ВЭИ проводятся работы по увеличению эффективности пылеулавливающих электрофильтров. Разрабатываются устройства, реализующие знакопеременную или импульсно-знакопеременную форму напряжения питания коронирующего электрода. Использование знакопеременного питания является средством борьбы с обратной короной, образующейся при улавливании высокоомной пыли. Применение знакопеременной формы напряжения позволяет увеличить эффективность пылеочистки высокоомных пылей в 1,5 -3 раза, кроме того, создаётся рыхлый слой пыли на осадительном электроде, что приводит к самоочистке при осаждении пылей с любой величиной удельного электрического сопротивления

и отказу от систем механического отряхивания осадительных электродов. Использование дополнительно коротких импульсов (десятки микросекунд при скважности более 100) при любом виде питания униполярном или знакопеременном увеличивает эффективность пылеочистки в 2-4 раза для всех известных типов пылей. Предлагается комбинированное импульсно-знакопеременное питание как универсальное. Реализация нового вида питания стало возможным благодаря использованию высоковольтных ключевых ламп – электронно-лучевых вентилей с малым прямым падением напряжения при непрерывном и импульсном режиме работы [35,36,37]..

Предлагаются вниманию новые эффективные методы повышения степени пылеочистки электрофильтров (ЭФ) на основе формирования вместо униполярного напряжения – импульсного специальной формы. Это знакопеременное секундной длительности и импульсное, наложенное на знакопеременное или униполярное –микросекундной длительности [35,36,37].

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данном разделе рассчитывается себестоимость исследования «Вариантов реконструкции системы золоулавливания» на Кузнецкой ТЭЦ. На данный момент система золоулавливания мокрая трубы Вентури+скруббера. Планируется их замена на высокоэффективные электрофилтра.

4.1 Планирование НИР

Для выполнения работы, составляется план, в нем подсчитывается по пунктам трудоемкость работ, количество исполнителей участвующих в проекте, расходы и текущие затраты: заработная плата, социальные отчисления.

Поэтапный список работ, работающие исполнители, оценка объема трудоемкости отдельных видов работ сведена в таблице 4.1

Таблица 4.1- Перечень работ и оценка времени их выполнения

	Наименование работ	Время для выполнения задания в днях	
		Инженер	Руководитель
1	Составление задания	1	1
2	Краткая характеристика системы золоулавливания Кузнецкой ТЭЦ	9	
3	Анализ работы котлов и расчет их выбросов	9	
4	Расчет системы золоулавливания	21	2
5	Проверка руководителем проделанной работы	1	1
6	Расчет электрофилтра	21	1
7	Проверка исправлений и замечаний	6	
8	Утверждение ВКР руководителем		1
9	Итого	68	6

4.2 Смета затрат на разработку проекта

Обычно затраты на любой вид деятельности рассчитываются по следующим элементам расходов с последующим суммированием:

$$K_{np} = K_{mat} + K_{ам} + K_{зн} + K_{со} + K_{пр} + K_{нр} \quad (44)$$

Где,

K_{mat} – материальные затраты, руб.;

$K_{ам}$ – затраты на амортизацию, руб.;

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

$K_{со}$ – затраты на социальные отчисления, руб.;

$K_{пр}$ – прочие затраты, руб.;

$K_{нр}$ – накладные расходы, руб.

4.2.1. Материальные затраты при проведении работы

В ходе работы была истрачена: бумага формата А-4, А-1 для принтеров, краска на принтере, канцелярские товары.

Материальные затраты принимаем 1000руб.

4.2.2. Амортизация основных фондов и нематериальных актив.

К основным фондам при выполнении проекта относятся электронная вычислительная техника (компьютер, ноутбук) и печатающее устройство (принтер), данные приведены в таблице № 4.2

Таблица 4.2 – Основные фонды

Вид техники	Количество	Стоимость техники, Цк.т.	Норма амортизации, Там.	Иам.
Компьютер	1	25000руб.	20%	780руб.
Принтер	1	8000руб.	20%	21,9 руб.

Затраты на амортизацию основных фондов рассчитываются по следующей формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.к.т}}{T_{кал.дней}} \cdot Ц_{к.т} \cdot \frac{1}{T_{ам}} \quad (45)$$

Где,

$T_{исп.к.т}$ - время использования компьютера (дней);

$T_{кал.дней}$ - количество календарных дней;

$Ц_{к.т}$ - стоимость техники;

$T_{ам} = 5$ лет - норма амортизации.

$$K_{ам. Комп} = \frac{68}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 931 \text{ руб.}$$

$$K_{ам. Прин.} = \frac{6}{365} \cdot 8000 \cdot \frac{1}{5} = 26 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений по основным фондам:

$$K_{ам.осн}^{\Sigma} = K_{ам.комп} + K_{ам.прин.} = 931 + 26 = 957 \text{ руб.}$$

4.2.3 Расчет фактической заработной платы

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу, исходя из должностных окладов в соответствии с принятыми на предприятии нормами и системами оплаты труда;
- выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда (выплаты по районным коэффициентам);
- оплата в соответствии с действующим законодательством очередных ежегодных и дополнительных отпусков (компенсация за неиспользованный отпуск);

Фактическая заработная плата рассчитывается по формуле

$$K_{\text{факт.зн}} = \frac{ЗП_{\text{мес.пл}}}{21} \cdot n \quad (46)$$

Где:

T – число рабочих дней в месяце = 21 день;

n – количество фактически затраченных дней,

для инженера n = 68 дней, а для руководителя n = 6 дней.

Зарплата рассчитывается по следующей формуле:

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗПо \cdot K1 \cdot K2 \quad (47)$$

Где,

ЗПо = 17000 - оклад инженера;

ЗПо = 17000 руб – оклад ассистента;

K1 = 1,1 (10%) – коэффициент, учитывающий отпуск;

K2 = 1,3 (30%) – районный коэффициент.

Зарплата инженера

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

Зарплата руководителя

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

Расчет фактической заработной платы:

$$K_{\text{факт.зн.ин}} = \frac{24310}{21} \cdot 68 = 78718 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{факт.зн.рук}} = \frac{24310}{21} \cdot 6 = 6945 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату составят:

$$K_{\text{зн}} = K_{\text{факт.зн.ин}} + K_{\text{факт.зн.рук}}$$

$$K_{\text{зн}} = 78718 + 6945 = 85663 \text{ руб.}$$

4.2.4 .Социальные отчисления

Отчисления на социальные нужды» отражаются обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования от элемента «затраты на оплату труда» (30% с 2012 г)

$$K_{соц.} = 30\% \cdot \text{ФЗП} \quad (48)$$

$$K_{соц.} = 0,3 \cdot 85663 = 25698 \text{ руб.}$$

4.2.5 Прочие затраты

К элементу «Прочие затраты» себестоимости продукции (работы, услуг) относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, платежи за предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ; вознаграждения за изобретения и рационализаторские предложения; затраты на командировки; плата сторонним организациям за пожарную и сторожевую охрану; за подготовку кадров; оплата услуг связи, вычислительных центров, банков; плата за аренду; представительские расходы; затраты на ремонт.

Прочие затраты это $10\% \cdot \sum$ всех предыдущих затрат.

$$K_{пр} = 10\% \cdot (K_{mat} + K_{ам} + \text{ФЗП} + K_{соц.}) \quad (49)$$

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (1000 + 957 + 85663 + 25698) = 11331 \text{ руб.}$$

4.2.6 Накладные расходы

При выполнении проекта на базе НИТПУ, 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 рассчитываются как 200% от затрат на оплату труда.

$$K_{HP} = 2 \cdot K_{3П}^{\Sigma} \cdot (50)$$

$$K_{HP} = 2 \cdot 85663 = 171326 \text{ руб}$$

Таким образом суммарные капитальные вложения составили:

$$K_{np} = 1000 + 957 + 85663 + 25698 + 11331 + 171326 = 295975 \text{ руб.}$$

Таблица 4.3- Затраты на исследование проекта

Затраты	Сумма, руб
Накладные расходы	171326
Прочие затраты	11331
Социальные отчисления:	25698
Фактическая заработная плата	85663
Амортизационные отчислений по основным фондам	957
Материальные затраты	1000
Затраты на расчет проекта	295975

4.3 Смета с затратами на оборудование

Для реализаций проекта необходимо приобрести электрофильтр.

Стоимость электрофильтра ЭГАВ1-14-7,5-6-3 с доставкой и установкой составляет 17,9 млн.руб

4.4 Расчет экономического эффекта от реконструкции

Экономия денежных средств будет происходить за счет изменения экологических платежей при замене существующего золоулавливающего оборудования на электрофильтра.

Нормативы удельных выбросов по массовому выбросу твердых частиц

5,86 кг/т.ут

$$\text{До реконструкции: } m_{уд} = M_{зоб} / V_{общ} \quad (51)$$

$$m_{уд} = 4687000/499818 = 9,37 \text{ кг/т.ут}$$

После реконструкции: $m_{уд} = 375000/499818 = 0,75 \text{ кг/т.ут}$

Допустимый массовый выброс твердых частиц по НУВ составляет 5,86 кг/ т.у.т.

4.4.1 Плата за выброс золы в атмосферу

До реконструкции

$$I_{в.з.д.р} = M_{ЗОЛЫ}^{ОБЩАЯ} \cdot (1 - \eta_{3У}) \cdot S_{3л} \quad (52)$$

$$I_{в.з.д.р} = 93745 \cdot (1 - 0,95) \cdot 515 = 2,41 \frac{\text{млн.р}}{\text{год}}$$

Где,

$S_{3л} = 515 \frac{\text{руб}}{\text{т}}$ - норматив платы за выброс одной тонны в пределах установленных

лимитов;

$\eta_{3У}$ - КПД золоуловителя;

После реконструкции

$$I_{в.з} = 93745 \cdot (1 - 0,996) \cdot 103 = 0,038 \frac{\text{млн.р}}{\text{год}}$$

$S_{3л} = 103 \frac{\text{руб}}{\text{т}}$ - норматив платы за выброс одной тонны золы в пределах

допустимых норм

4.4.2 Экономический эффект

$$\Delta \mathcal{E}_{ЭК} = I_{в.з.р} - I_{в.з} \quad (53)$$

$$\Delta \mathcal{E}_{ЭК} = 2,41 - 0,038 = 2,372 \text{ млн.руб}$$

Так как г. Новокузнецк является одним из самых загрязненных городов, очень актуальным становится вопрос о снижении выбросов с предприятий, особенно с металлургических и энергетических. На Кузнецкой ТЭЦ существующая система золоулавливания не справляется должным образом с золоулавливанием, так как по данным ПТО, ПДК выбросов выше допустимых.

Поэтому наиболее эффективным путем для снижения выбросов является установка эффективных электрофильтров.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Корпоративная и социальная ответственность. Это понятие включает в себя не только затраты на безопасность, сохранение здоровья и обучение сотрудников. Его значение намного шире, чем забота о детях сотрудников и энергетиках, вышедших на пенсию. Речь идёт о комплексной политике компании, направленной на выстраивание взаимоотношений с обществом и государством, партнёрами и акционерами.

При определении стратегии своего развития и в текущей деятельности Кузнецкая ТЭЦ исходит из того, что обязательным условием устойчивого и эффективного развития бизнеса является неуклонное следование принципам социальной ответственности. В соответствии этими принципами ТЭЦ видит свою задачу в производстве необходимой населению продукции тепла и электроэнергии . наиболее эффективным и экологически безопасным способом.

Во многом репутация угля была подорвана из-за того, что продукты его горения выбрасываются в атмосферу. Минимизировать это воздействие можно, используя современные фильтры и более экологичные виды горючего топлива.

Целью данной работы является показать как можно улучшить экологическую ситуацию от выбросов Кузнецкой ТЭЦ путем установки нового золоулавливающего оборудования. На Кузнецкой ТЭЦ складывается по выбросам следующая ситуация, что один котел превышает ПДК вместе взятых других котлов порядка 10 раз. А экологическая ситуация Новокузнецка и так хромает из-за выбросов металлургических комбинатов и энергопроизводств.

Решением снижения выбросов в атмосферу одного котла будет несколько этапов:

- 1) Испытание котельного агрегата
- 2) Обработка испытаний
- 3) Разработка вариантов реконструкции системы золоулавливания

5.1 Пожарная безопасность

Работа по обеспечению пожарной безопасности на ТЭС ведется в соответствии с утвержденным планом мероприятий.

Способы тушения пожаров:

1. Способы охлаждения (сплошными струями воды, распыленными струями воды, перемешиванием горячих веществ);
2. Способы изоляции (слоем пены, слоем продуктов взрыва ВВ, созданием разрывов в горячем веществе, слоем огнетушащего порошка, огнезащитными полосами);
3. Способы разбавления (струями тонкораспыленной воды, газоводяными струями от АГВТ, негорючими парами и газами, горючих жидкостей водой);
4. Способы химического торможения (огнетушащим порошком, галоидоуглеводородами).

Силами пожарно-технической комиссии проведено 9 обследований цехов, бытовых помещений, закреплённой территории. Выдано 4 предписания организациям, арендующим помещения ТЭС. Осуществлена перезарядка огнетушителей. Согласно графикам в цехах организовано и проводилось обслуживание кабельного хозяйства (осмотр, очистка); техническое обслуживание АУПТ, АУПС, насосов ПНС; опрессовка пожарного водовода; проверка пожарных кранов на водоотдачу; проверку «сухотрубов», проверка состояния первичных средств пожаротушения. Организован постоянный контроль за организацией и проведением огневых работ, за состоянием пожароопасных мест, за поступлением первичных средств пожаротушения.

5.2 Основные требования по противопожарной безопасности.

В качестве объекта рассмотрения выбрано турбинное отделение.

Технологический процесс производства электрической относится к производству повышенной опасности. Электроэнергия отпускается с шин генератора. Оборудование турбинного отделения работает в различных условиях, так турбина, а также трубопроводы перегретого пара, пара промперегрева, питательной воды, подогреватели, бойлера установленные в турбинном отделении работают под высоким давлением и температурой, испытывая механические нагрузки. Генератор, разнообразные насосы работают под высоким электрическим напряжением, в условиях повышенной вибрации и т. п.

Все перечисленные особенности работы оборудования требуют строжайшего соблюдения ПТБ и охраны труда, в соответствии с классом и категорией пожароопасности, таблица 5.1.

Здание турбинного отделения перекрывается железобетонными блоками. Стены цеха сборные из железобетонных плит, толщиной 300 мм. Для удобства обслуживания предусмотрены специальные площадки и лестницы с ограждениями.

Ширина проходов, проездов, расстояние от стен помещений до оборудования и между ними соответствует нормам СНиП 31-03-2001 «Производственные здания».

Для эвакуации предусмотрены эвакуационные выходы с каждого торца здания.

Таблица 5.1- Класс и категория пожароопасности

	Класс пожароопасности ПУЭ	Класс по опасности поражения электрическим током	Категория помещений по пожароопасности НПБ-105-03	Санитарный класс производства СП2.2.1.1312-03
Турбинное отделение	В-1б	Повышенная опасность	В3	Класс 2

В зависимости от вероятных причин возникновения пожара по ППБ-01-03 предусматривается иметь на территории цеха:

- внутренний противопожарный водопровод;
- пенные огнетушители;

- порошковые огнетушители;
- углекислотные огнетушители;
- ящики с песком

5.3 Опасности и их классификация

Опасность – свойство человека и компонент окружающей среды, способные причинять ущерб живой и неживой материи. Опасности возникают и реализуются только при воздействии источника опасности на объект защиты в условиях, когда параметры потоков воздействия превышают способность объекта защиты к их восприятию с сохранением своей целостности.

По происхождению опасности делятся на естественные, техногенные и антропогенные.

Естественные опасности обусловлены климатическими и природными явлениями. Они возникают при изменении погодных условий, а также от стихийных явлений (наводнения, землетрясения и т.д.).

Техногенные опасности создают элементы техносферы-машины, сооружения, вещества (запыленность и загазованность воздуха, шум, вибрации и т.д.)

Антропогенные опасности возникают в результате несанкционированных действий человека или групп людей.

По воздействию опасностей на человека их принято разделять на вредные и травмоопасные факторы.

Вредный фактор - негативное воздействие на человека, которое приводит к ухудшению самочувствия или заболеванию.

Травмирующий фактор - негативное воздействие на человека, которое приводит к травме или летальному исходу.

Рассмотрим некоторые наиболее вероятные *вредные* производственные факторы при выполнении данного раздела выпускной квалификационной работы.

5.3.1 Состояние воздушной среды.

Отклонение показателей микроклимата на рабочих местах от норм, устанавливаемых НТД, анализируется отдельно на открытых площадках и в закрытых помещениях в соответствии со СНиП 41-01-03, таблица 5.2.

Таблица 5.2 – допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° _{опт}	Диапазон выше оптимальных величин t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт} ***
Холодный	Ia	20,0 - 21,9	24,1 - 25,0	19,0 - 26,0	15 - 75 ***	0,1	0,1
	Iб	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 - 75	0,1	0,2
	IIa	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
	IIб	15,0 - 16,9	19,1 - 22,0	14,0 - 23,0	15 - 75	0,2	0,4
	III				15 - 75	0,2	0,4
Теплый	Ia	21,0 - 22,9	25,1 - 28,0	20,0 - 29,0	15 - 75 ***	0,1	0,2
	Iб	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75 ***	0,1	0,3
	IIa	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75 ***	0,1	0,4
	IIб	16,0 - 18,9	21,1 - 27,0	15,0 - 28,0	15 - 75 ***	0,2	0,5
	III	15,0 - 17,9	20,1 - 26,0	14,0 - 27,0	15 - 75 ***	0,2	0,5

При проведении работ на открытых площадках данной территории региона указываются: период времени года выполняемых работ, метеорологические параметры воздуха территории района (минимальные и максимальные температуры, скорость движения, относительная влажность, давление). Нормы параметров микроклимата при работе на открытом воздухе зависят от тяжести и времени выполняемых работ. По результатам анализа определяются конкретные мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия климата на организм рабочего.

В атмосферу турбинного цеха могут попадать газы и пыль из котельного цеха, а также водород, который используются для охлаждения ротора генератора.

Для защиты от этих вредных веществ, предусматривается:

- автоматизация и механизация процессов, сопровождающихся выделением вредных веществ;

- средства индивидуальной защиты;

- герметизация оборудования;

- местная вытяжная вентиляция и общая вентиляция.

5.3.2 Освещенность.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, таблица 5.3.

В производственных условиях используется три вида освещения:

1) естественное (источником его является солнце)

Естественное освещение создается природными источниками света прямыми солнечными лучами и диффузным светом (от солнечных лучей и.т.д);

2) искусственное освещение

3) совмещенное освещение.

Искусственное освещение промышленных предприятий осуществляется лампами накаливания ДРЛ-250, ДРЛ-500, НГ-30, ЛБ-40.

Совмещенное освещение применяется в том случае, когда только естественное освещение не может обеспечить необходимые условия для выполнения производственных операций.

Таблица 5.3– Нормы освещения по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Естественное и искусственное освещение»

Наименование помещения	Характер работы	Нормируемое значение КЕО, %		Нормируемая освещенность при естественном освещении, Лк		Тип светильника
		Комбинированное	боковое	Комбинированное	боковое	
Машинный зал	Наблюдение за производственным процессом (VIII разряд зрительной работы)	1	0,3	75	75	ДРЛ-500
БЦУ	Наблюдение за измерениями, приборами и фиксация (III разряд зрительной работы)	5	2	500-750	300-500	СД ЛБ-40

5.3.3 Шум и вибрация исследуются при наличии в проекте источников шума и вибрации.

Классификация уровней шума и вибрации определяются в соответствии с допустимыми нормами по ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999 г. и СН 2.2.4/2.1.8.566-96, таблица 4 и таблица 5 соответственно.

По происхождению шумы подразделяются на следующие виды:

- 1) Шум аэродинамического происхождения -возникающий вследствие стационарных процессов в газах (пульсация давления при движении потоков воздуха или газа в трубах, горение жидкого топлива в форсунках).
- 2) Шум электромагнитного происхождения- возникающий вследствие колебаний элементов электромеханических устройств (колебания статора и ротора машин).
- 3) Шум гидродинамического происхождения- возникающий вследствие стационарных процессов в жидкостях (гидравлические удары, кавитация) и.т.д.

Таблица 5.4–.Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения управления, рабочие комнаты	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица 5.5– Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3-технологической типа «а»

Вибрация	Допустимый уровень виброскорости в полосах со среднегеометрическими частотами полос, Гц					
Технологическая вибрация на постоянных рабочих местах стационарных машин	2	4	8	16	31,5	63
	108	99	93	92	92	92

Таблица 5.6– Предельно допустимые уровни воздушного ультразвука на рабочих местах по СН 2.2.4/2.1.8.582-96

Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц	Уровни звукового давления, дБ
12,5	80
16,0	90
20,0	100
25,0	105
31,5-100	110

6 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

6.1 Золовое хозяйство пылеугольной ТЭС

Сжигание на электростанциях наименее качественного твердого топлива (с высокой теплотой сгорания, многозольного) приводит к большому выходу золошлаковых материалов.

Для сбора золы и шлака котельных установок, отпуска их потребителям, транспорта золошлаковых материалов внутри главного корпуса, на площадке ТЭС и за ее пределами, для складирования их в золоотвалах и предотвращения вредного воздействия последних на окружающую среду создаются системы золошлакоудаления, образующие золовое хозяйство тепловой электростанции. Системы золошлакоудаления должны быть допустимыми в экологическом и эффективными в технико-экономическом отношении.

В настоящее время на большинстве действующих электростанций зола и шлак удаляются гидравлическим способом и складировются на поверхности земли в золоотвалах. Наряду с определенными достоинствами – полная механизация процесса золошлакоудаления и возможность транспортировки на большие расстояния – этому способу присущ целый ряд недостатков. К основным из них относятся большой расход воды на транспортировку золы и шлака, изъятие больших площадей земли под золоотвалы, попадание загрязненных сточных вод системы ГЗУ в водоемы.

Для осветления сточной воды золоотвалов до состояния, позволяющего использовать ее в оборотном водоснабжении системы ГЗУ ТЭС, на золоотвалах устраивают отстойные пруды, в которых должен быть объем воды, необходимый и достаточный для восполнения возможных потерь из системы ГЗУ.

6.2 Очистка и удаление дымовых газов в атмосферу

Современный этап научно-технической революции характеризуется широким вовлечением в сферу человеческой деятельности всех основных ресурсов оболочки Земли. В таблице 6.1 приведены данные о загрязняющих выбросах веществ в мировом масштабе в атмосферу в целом и в том числе в результате человеческой деятельности (антропогенных).

Как видно из таблицы 6.1, по большинству веществ (твердые частицы, оксиды серы и углерода) антропогенные выбросы оказываются соизмеримыми с естественными выбросами соответствующих веществ, а в некоторых случаях превосходят их. Из последней графы следует, что из общих антропогенных выбросов на долю энергетики приходится около 20-30 %.

Таблица 6.1- Ежегодное количество примесей, поступающие в атмосферу Земли

Вещество	Загрязняющие выбросы			
	суммарные, Гт/год	в том числе антропогенные		
		всего	В том числе от энергетики	
		%	Гт/год	Гт/год
Твердые частицы	3 - 5,5	15 – 50	1 – 2,6	0,1 – 0,5
Оксиды серы	0,25 – 0,35	25 – 55	0,1 – 0,15	0,01 – 0,1
Оксиды азота	1, 2 – 1,5	3 – 6	0,04 – 0,08	0,015 – 0,025
Оксид углерода	0,3 – 0,38	60 – 90	0,2 – 0,35	0,02 – 0,04
Диоксид углерода	70 – 150	15 – 30	15 – 25	1 – 5

На рисунке 6.1 показаны основные источники выбросов вредных веществ ТЭС, оказывающих влияние на состояние атмосферы в районе ее расположения. Потребляя огромное количество топлива и воздуха, котельная установка ПК выбрасывает в атмосферу через дымовую трубу ДТ продукты сгорания, содержащие оксиды углерода CO_x , сернистый ангидрид SO_2 , оксиды азота NO_x .

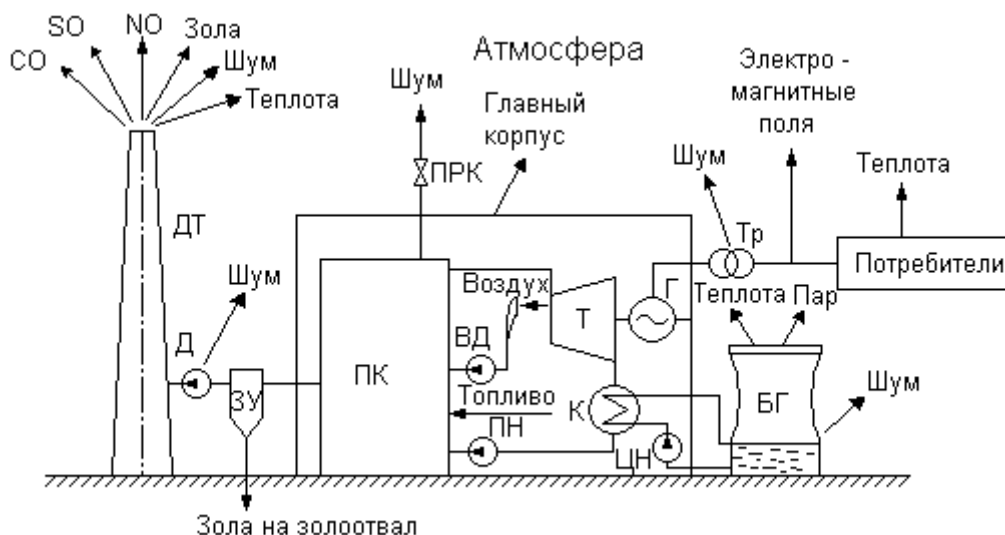


Рисунок 6.1- Схема взаимодействия ТЭС с атмосферой

Основное количество углерода выбрасывается в форме CO_2 и не относится к числу токсичных компонентов, но в глобальном масштабе может оказывать некоторое влияние на состояние атмосферы и даже климат планеты. Оксид углерода CO является токсичным компонентом, однако при рационально построенном процессе горения в топке парового котла он содержится в незначительном количестве.

Главными компонентами, определяющими загрязнение атмосферы в районе расположения ТЭС, является сернистый ангидрид SO_2 и оксиды азота NO и NO_2 . В топочной камере образуется в основном монооксид азота. Однако при движении в атмосфере происходит частичное доокисление, вследствие чего расчет обычно ведут на более токсичный диоксид азота.

Следующим важным компонентом, загрязняющим атмосферу в районе расположения ТЭС, работающих на твердых топливах, является летучая зола, не уловленная в золоуловителе ЗУ. Уловленная зола направляется на золоотвал, на сооружение которого отводится значительная часть полезной территории, причем в процессе хранения золы некоторая ее часть уносится в атмосферу (пыление золоотвалов). Поступление пыли в атмосферу может наблюдаться также со складов твердого топлива.

В атмосферу поступает вся теплота, внесенная топливом либо на самой ТЭС, либо у потребителей энергии. Главная часть (около 50%) теплоты топлива удаляется через охлаждающие устройства циркуляционной воды (БГ – башенная градирня). В случае прямоточного водоснабжения теплота с циркуляционной водой сбрасывается в гидросферу (реки, озера); 5 – 7 % теплоты удаляется с дымовыми газами из дымовой трубы. Остальное количество теплоты выделяется у потребителей электроэнергии и теплоты.

В районе расположения крупной ТЭС в воздушный бассейн попадают шумы в основном от источников, расположенных на открытом воздухе. Сюда относятся периодические сбросы пара через предохранительные клапаны ПРК, постоянный шум от повышающих трансформаторов Тр, градирен. Особенно вреден шум от осевых дымососов Д, который может распространяться на большой район из устья дымовой трубы ДТ.

На окружающую среду могут оказывать некоторое влияние электромагнитные поля высоковольтных линий электропередачи между ТЭС и потребителями электроэнергии.

Минздравом установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, которые являются практически безвредными для людей, животных, растительности (таблица № 6.2).

Таблица 6.2- Предельно допустимые концентрации некоторых (мг/м³) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (извлечения из ГН 2.1.6695-98)

Вещество	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³	
	Максимальная разовая	Среднесуточная
Пыль нетоксичная	0,50	0,15
Сернистый ангидрид	0,50	0,05
Диоксид азота	0,085	0,085
Оксид углерода	3,0	1,0
Ванадия пентаоксид	–	2*10 ⁻³

6.3 Основные принципы золоулавливания

Вследствие того, что частицы золы уноса являются твердыми (в отличие от прочих газообразных продуктов сгорания), их выделение из потока может быть осуществлено физическими методами. Наибольшее распространение в энергетике получили методы инерциального отделения и отделения заряженных частиц в электростатическом поле.

Циклонные золоуловители. В циклонных (инерционных) золоуловителях отделение твердых частиц осуществляется вследствие возникновения центробежных сил при движении пылегазового потока по кольцевому каналу.

Для достижения степени улавливания на уровне 0,88 – 0,90 диаметр циклона принимается возможно меньшим ($D=0,25 - 0,5$ м). Поэтому для пропуска больших объемов газов после паровых котлов устанавливают батарейные циклоны, состоящие из сотен циклонов, в каждый из которых попадает соответствующая часть общего пылегазового потока.

Мокрые золоуловители. Недостатком работы сухих циклонов является возможность вторичного захвата осевшей на их стенках золы, что снижает эффективность работы аппарата. Простейшим методом предотвращения вторичного уноса со стенок является смачивание их стекающей пленкой воды. В этом случае практически все золовые частицы, достигшие стенок, удаляются вместе с водой в золовой бункер.

Электрофильтры. Степень улавливания золы в электрофильтре возрастает с ростом эффективной напряженности электрического поля и падает с увеличением скорости дымовых газов. Эффективная напряженность электрического поля определяется свойствами пылегазового потока.

Эффективная напряженность электрического поля, а следовательно, скорость дрейфа и кинематический параметр связаны с удельным электрическим сопротивлением.

На степень улавливания большое влияние оказывает скорость газов, причем в отличие от циклонных золоуловителей степень улавливания золы в электрофильтрах растет с уменьшением скорости. Поэтому для углей с высоким УЭС золы приходится принимать малые скорости газового потока ($u=1 - 1,2$ м/с), а для прочих топлив $u=1,6 - 1,8$ м/с. Низкие скорости газов требуют установки электрофильтров очень большого поперечного сечения, что ведет к большим расходам металла и высоким капитальным затратам. Электрофильтры, как и механические золоуловители, лучше улавливают крупные частицы золы, однако зависимость их работы от диаметра частицы меньше, чем у циклонных золоуловителей.

Тканевые фильтры. В настоящее время в энергетике получают применение тканевые фильтры, применявшиеся ранее в других отраслях промышленности для улавливания пыли. Фильтрация осуществляется через гибкую ткань, выполняемую из тонких нитей (диаметр нитей около 100 – 300 мкм). Ткань имеет цилиндрическую форму, поэтому фильтры получили название рукавных. С помощью тканевых фильтров можно получить очень высокую степень улавливания – более 99%. Длительность работы ткани составляет 1 – 3 года.

6.4 Снижение выбросов оксидов серы и азота

Очистка от соединений серы. Для снижения выбросов серы существуют два подхода: очистка от соединений серы продуктов сгорания топлива или удаление серы из топлива до его сжигания.

Подавление образования оксидов азота. Оксиды азота могут образовываться в процессе горения в топках мощных паровых котлов при высоких температурах в ядре факела.

Большинство мероприятий по подавлению образования оксидов азота связано со снижением температуры в ядре зоны горения. К числу таких мероприятий относятся следующие:

1) рециркуляция дымовых газов с помощью специального дымососа, забирающего дымовые газы после экономайзера и подающего их в топку. Подмешивая приблизительно 20% дымовых газов, удастся снизить концентрацию NO на 40%;

2) двухстадийное сжигание топлива, когда в нижний пояс горелочных устройств подается все топливо и часть воздуха, необходимого для сжигания (0,8 – 0,9 теоретически необходимого количества). При этом происходит частичная газификация топлива при пониженной температуре в ядре факела по сравнению с полным сжиганием. Далее в верхний пояс подается остальное количество воздуха для дожигания продуктов неполного горения, однако температура при этом возрастает не сильно;

3) ввод воды вместо пара в мазутные форсунки в количестве 8 – 10 % массы топлива позволяет уменьшить концентрацию оксидов азота на 20 – 30 %;

4) существенно снижается образование оксидов азота при низких избытках воздуха.

6.5 Шум от энергоустановок и мероприятия по его снижению

Поскольку звук распространяется прямолинейно, то исключительное значение имеет высота расположения источника над уровнем земной поверхности. Чем выше расположен источник звука, тем на больший район вокруг ТЭЦ он может оказывать воздействие. Охлаждаемая поверхность градирни, трансформаторы, газораспределительные устройства располагаются сравнительно низко; их влияние ограничивается зданиями, расположенными в непосредственной близости от них. Для снижения вредного воздействия от шума этих устройств бывает достаточно установить экранирующую звуковую стенку вблизи источника. Сложнее обстоит дело с борьбой против шума из высотных источников.

Высокое значение звуковой мощности имеют место у газотурбинных установок, получающих все большее распространение в качестве агрегатов,

снимающих суточные пики электрической нагрузки. Наибольшие звуковые давления порядка 140 дБ возникают на входе в ГТУ со стороны установки воздушных компрессоров. Поэтому в месте забора воздуха устанавливаются шумоглушители.

7.6 Удаление дымовых газов в атмосферу

Определение размеров труб. Весьма ответственным устройством в системе охраны биосферы от вредных выбросов ТЭС являются газоотводящие устройства – дымовые трубы. Для того, чтобы не были превышены концентрации вредных веществ на уровне дыхания, соответствующие значениям, приведенным в табл.6.3, требуется уменьшение концентраций вредных веществ в дымовых газах на четыре порядка (примерно в 10 тыс. раз). Таковую степень очистки дымовых газов по оксидам серы, в частности, нельзя обеспечить ни одним известным способом: лучшие сероулавливающие установки могут обеспечивать снижение концентрации лишь в 10 – 20 раз.

Таблица 6.3- Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88(извлечение).

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности
Азота диоксид	2	П	3
Ангидрид сернистый (диоксид серы)	1	А	2
Водород пористый (в пересчете на фтор)	0,5/0,1	П	1
Медь	1/0,5	П	2
Оксид углерода	20	П	4

Условные обозначения: П-пары, А-аэрозоль.

Поэтому природоохранные мероприятия в отношении уменьшения концентраций токсичных веществ, включают две обязательные стадии –

очистка в возможных пределах дымовых газов в газоочистных устройствах ТЭС и последующее рассеивание остаточных вредностей за счет турбулентной диффузии в больших объемах атмосферного воздуха.

Минимально допустимая высота трубы h , при которой обеспечивается необходимое рассеивание вредных веществ для получения регламентированных ПДК при нескольких трубах одинаковой высоты и наличии фоновой загазованности c_{ϕ} от других источников такой же вредности, рассчитывается по формуле

$$h = \sqrt{\frac{AMFmn}{ПДК - c} \sqrt[3]{\frac{z}{V\Delta T}}}$$

Здесь, A – коэффициент, зависящий от температурной атмосферы для неблагоприятных метеорологических условий, определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе. M – количество вредного вещества на ТЭС, выбрасываемого в атмосферу, г/с. C – с учетом суммирования выбросов серы и азота. F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. z – число одинаковых дымовых труб. D_0 – диаметр устья дымовой трубы, м; ΔT – разность между температурой выбрасываемых газов T и средней температурой воздуха $T_{в}$, в качестве которой принимается средняя дневная температура самого жаркого месяца в 14 м по летнему времени. V – Объем дымовых газов ТЭС, м³/с.

ВЫВОД: Из-за деградации окружающей среды и практически невозможности ее восстановления, изначально нужно испытывать и проверять новые методы золоулавливания. Ведь от уменьшения выбросов напрямую зависит здоровье наших детей. Также во время реализация технологического решения, возможно появление новых рабочих мест, а это положительно скажется на социально-экономической ситуации города.

Один из путей повышения экологической ситуации в городе- это переход на природный газ. Но в угольном регионе это проблематично из-за близости логистической составляющей и малой распространенностью газотранспортной сети. Поэтому выбросы можно только уменьшить путем установки золоуловителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчета были определены основные показатели работы золоуловителей: КПД труб Вентури $\eta=95\%$.

Для уменьшения выбросов вредных веществ было выбрано очистное устройство, электрофильтр типа ЭГАВ1-14-7,5-6-3, у которого степень очистки дымовых газов $\eta=99,6\%$.

В экономическом эффекте предлагаемый проект позволяет улучшить экологическую обстановку в районе, городе и на территории предприятия. Это приводит к улучшению здоровья человека и экологической ситуации в целом.

Получаем экономию за счет снижения платы за выбросы на ремонты в связи с надежностью электрофильтров, продолжительности ремонтов и трудоемкости ремонтов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белосельский Б. С. Пути и перспективы защиты атмосферы от вредных газовых выбросов тепловых электростанций//Изв. Акад. пром. экол. 1997. №4. С. 49—54.
2. Palige J., Chmielewski A. G. Some aspects of the destructive impact of fossil fuel combustion and mining on the environment// Elec., Health and Environ.: Compar. Assess. Support Decis. Making: Proc. Symp., Vienna, 16—19 Oct., 1995. — Vienna, 1996. P. 810— 817.
3. Ольховский Г. Г., Тумановский А. Г., Глебов В. П., Берсенев А. П. Проблемы охраны воздушного бассейна от воздействия тепловых электростанций и их решение//Изв. РАН. Энергетика. 1997. № 5. С. 5—19.
4. Areklett Ivar, Nygaard Lynn P. Emission-free gas power: Soon realisable// Greenhouse Issues. 2001. № 57. P. 4.
5. Автономов А. Б. Мировая энергетика: состояние, масштабы, перспективы, устойчивость развития, проблемы экологии, ценовая динамика топливно-энергетических ресурсов//Электрические станции. 2003. № 5. С. 55—64.
6. Саламов А. А. Опыт некоторых энергетических компаний США и центральной Европы по защите окружающей среды//Теплоэнергетика. 2002. № 2. С. 76—78.
7. Котлер В. Р. Энергетика Германии: итоги 1995 г.// Электрические станции. 1997. № 6. С. 64—67.
8. Котлер В. Р. Одновременное улавливание оксидов азота и серы из дымовых газов котлов // Там же. № 2. С. 59—67.
9. Парогазовые электростанции США (статистика за 2001 г.)//Там же. 2003. № 4. С. 71—74.
10. Ольховский Г. Г., Березинец П. А., Малышева В. С. Перспективные парогазовые установки с газификацией угля для экологически чистой энергетики//Изв. РАН. Энергетика. 1997. № 5. С. 20—32.

11. Зыков А. М., Чеканов Г. С., Ларцин В. В., Варфоломеев А. В., Колчин К. И., Беляев В. В. Снижение вы-бросов летучей золы на ТЭС при электрогазоочистке//Там же. С. 58—64.
12. Попета В. В. Перспективы использования рукавных фильтров для очистки дымовых газов мазутных котлов// Энергосбережение и водоподготовка. 1997. № 2. С. 75—77.
13. Индивидуальная замкнутая система орошения высокоэффективных мокрых золоуловителей//Энергетика. 1999. № 8. С. 14.
14. Кольцевой эмульгатор конструкции ИФ “КОЧ” из ти-тана//Там же. С. 40.
15. ESP hybrid promises cost-effective particulate control//Mod. Power Syst. 2002, March. P. 31.
16. Высокоэффективная система очистки дымовых газов для пылеугольных ТЭС//Kawasaki juko giho-Kawasaki Tech. Rev. 1997. № 135. P. 100—101.
17. Румянцев В. А., Горюнов И. Т., Преснов Г. В., Коптев А. С., Чернышев Е. В. Современный подход к про-ведению ремонтов и модернизации установок электрофильтров//Электрические станции. 1999. № 4. С. 27—31.
18. Ceramic filter//Maschinenmarkt. 2000. V. 106. № 38. P. 42.
19. Нолан П. С. Сероочистка дымовых газов на ТЭС//Энергетика. 1995. № 6. С. 15.
20. Котлер В. Р. Успехи и проблемы энергетиков США в области экологии//Электрические станции. 2002. № 12. С. 71—73.
21. Zhang Zhilong, Tang Mao-Ping. Применение технологии скрубберной десульфуризации дымовых газов с использованием морской воды для шести энергоблоков мощ-ностью 600 МВт эл. станции Zhangzhou Houshi// Zhongguo dianli-Elec. Power. 2002. V. 35. № 7. P. 69—71.
22. Новые разработки ВТИ//Энергетика. 2001. № 14. С. 33.
23. Ахметшина Н. Р., Беспалова С. У. Модернизация электрофильтров в целях сероулавливания из дымовых газов парогенераторов//Современные техника и технологии. Труды 5-й обл. науч.-практич. конференции студентов,

- аспирантов и молодых ученых. Томск, 1999: Сб. статей. — Томск: Изд-во ТПУ. 1999. С. 73—74.
24. De Wit, Ellart Kostijin, Van Yperen Rence, Borsboon Johannes. Method for removing sulfur compounds from gas mixtures//Eur. Pat. Appl. EP 1, 116, 511. 2001.
25. SACR promises low NO_x at low cost//Mod. Power Syst. 2002, March. P. 35.
26. Centeno M. A., Carrizosa I., Odriozola J. A. In situ DRIFTS study of the SCR reaction of NO with NH₃ in the presence of O₂ over lanthanide doped V₂O₅/Al₂O₃ catalysts//Appl. Catal. B. 1998. V. 19. № 1. P. 67—73.
27. Ходаков Ю. С., Еремин Л. М., Алфеев А. А. Современное состояние исследований по денитрификации дымовых газов ТЭС//Изв. РАН. Энергетика. 1997. № 5. С. 74—100.
28. Spinicci Roberto, Tofanari Anna. Characterization of catalysts for selective reduction of NO_x by means of methane//Environ. Catal. Better World and Life: Proc. 1st World Congr., Pisa, May 1—5, 1995. Roma. P. 263—266.
29. Саламова Н. В. Методы одновременной очистки дымовых газов ТЭС от оксидов серы и азота// Электрические станции. 1997. № 12. С. 56—60.
30. Lambert Serge, Flour Jean-Pierre. Procédé et dispositif de traitement des fumées//EP 0990864. 2000.
31. Boyle Phillip. ECO demonstrates the attractions of multi-pollutant control// Mod. Power Syst. 2002. May. P. 39—40, 43.
32. ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ. Учебное пособие по практическим работам. ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» Красноярск, 2008.
33. Старк С.Б. "Пылеулавливание и очистка газов ". М.: Стройиздат, 1977-328 с.
34. <http://www.ru.all.biz/zola-unos-teplovyh-elektrostantsij-bgg1083456>
35. Пат. 2207191 Россия. 7 В 03 С 3/38, Н 03 К 7/08. Способ питания электрофильтра и

35. устройство для его реализации. Переводчиков В.И., Шапенко В.Н., Щербаков А.В., Калинин В.Г., Стученков В.М. (Россия). – 2001111389. Заявлено 24.04.2001. Приоритет от 24.04.2001, Оpubл. 27.06.2003, Бюл. 18. С. 18.
36. Пат. 2291000 Россия. В 03 С 3/68, В 03 С 3/38. Устройство для питания электрофильтра (варианты). Щербаков А.В. – 2005110714/09. Заявлено 04.12.2005. Приоритет от 12.04.2005. Оpubл. 10.01.2007, Бюл. 1. С.10.
37. Пат. 2214040 Россия. 7 Н03 К 7/08, Н 02 М 7/12. Импульсный модулятор для питания емкостной нагрузки. Щербаков А.В., Калинин В.Г. (Россия), - 2000130850. Заявлено 08.12.2000. Приоритет от 08, 12, 2000. Оpubл. 10.10.2003. Бюл. 28. С.22.