

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 ООП/ОПОП Инженерия теплоэнергетики и теплотехники (Промышленная теплоэнергетика)  
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<b>Модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением</b>

УДК 621.181:621.184.8

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланов Павел Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Половников Вячеслав Юрьевич	Д.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	Д.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александра Михайловна	К.Т.Н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий получения, преобразования, транспорта и использования энергии в теплоэнергетических установках и нетрадиционных источниках энергии

<b>ПК(У)-3</b>	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на теплообменном оборудовании
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять анализ режимов работы с формулированием предложений по повышению эффективности деятельности и модернизации предприятий с учетом современных инновационных подходов
<b>ПК(У)-5</b>	Способен управлять технологическим оборудованием, контролировать параметры процессов и показатели получаемой продукции, показатели энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла
<b>ПК(У)-6</b>	Способен осуществлять проектирование и эксплуатацию теплотехнического, тепломеханического, теплообменного основного и вспомогательного оборудования, а также технологических установок, работающих под избыточным давлением



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП Инженерия теплоэнергетики и теплотехники (Промышленная теплоэнергетика)

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП/ОПОП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-5Б8Б	Беланов Павел Владимирович

Тема работы:

<b>Модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением</b>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>№41-37/с от 10.02.2023</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объект исследования система пылеприготовления котла. Целью работы является модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением для участия в системе автоматического регулирования котла процессами горения.</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>Введение 1 Описание котла Е-250-9,8-545 КТ 2 Система пылеприготовления 2.1 Описание системы пылеприготовления с промбункером 2.2 Система подачи пыли высокой концентрации под давлением 3 Тепловой расчет котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ 3.1 Исходные данные для теплового расчета 3.2 Теоретически необходимые объемы воздуха и продуктов сгорания 3.3 Определение коэффициентов избытка воздуха 3.4 Определение энтальпий воздуха и продуктов сгорания</p>

	<p>3.5 Определение элементов теплового баланса котельного агрегата</p> <p>3.6 Расчет теплообмена в топке</p> <p>4 Аэродинамический расчет системы ПВКд</p> <p>5 Модернизация системы пылеприготовления</p> <p>5.1 Экологические показатели для проведения модернизации</p> <p>5.1.1 Факторы, влияющие на природную среду и климат</p> <p>5.1.2 Влияние вредных выбросов оксидов азота</p> <p>5.1.3 Мероприятия по снижению выбросов оксидов азота</p> <p>5.1.4 Расчет выбросов в атмосферу окислов азота</p> <p>5.1.5 Результаты внедрения технологий по снижению выбросов</p> <p>5.2 Анализ существующих системы пылеприготовления с ПВКд</p> <p>5.3 Техническое решение системы пылеприготовления с ПВКд</p> <p>6 Автоматизация процессов горения и парообразования</p> <p>6.1 Сигнализации, защиты и блокировки в системе ПВКд</p> <p>6.2 Описание системы автоматического регулирования</p> <p>6.3 Технические средства системы автоматизации</p> <p>7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>8 Социальная ответственность</p> <p>Заключение</p>
--	--

<b>Перечень графического материала</b>	ФЮРА.421000.001.C2 Схема автоматизации АСР тепловой нагрузки
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы, профессор, д.э.н.
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель

<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.12.2022
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Половников Вячеслав Юрьевич	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланов Павел Владимирович		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП Инженерия теплоэнергетики и теплотехники (Промышленная теплоэнергетика)

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Период выполнения весенний семестр 2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-5Б8Б	Беланов Павел Владимирович

Тема работы:

<b>Модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением</b>
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.12.2022	Получение задания на выпускную квалификационную работу, уточнение цели и задач	10
28.02.2023	Сбор материалов и обзор источников	15
31.03.2023	Анализ информации и предварительная проработка технического решения	15
08.05.2023	Выполнение расчетной части работы	20
22.05.2023	Разработка основных технических разделов	15
26.05.2023	Разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
31.05.2023	Разработка раздела «Социальная ответственность»	10
06.06.2023	Оформление и представление ВКР	15

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Половников Вячеслав Юрьевич	Д.Т.Н.		

**Консультант (при наличии)**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александра Михайловна	К.Т.Н.		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланов Павел Владимирович		

## **Реферат**

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работы содержит 113 страниц текста, 10 рисунков, 25 таблиц, 37 источника литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: СИСТЕМА ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ, ПВКД, ПЫЛЕПИТАТЕЛЬ, ПАРОВОЙ КОТЕЛ, ПЫЛЕПРОВОДЫ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ВЫБРОСЫ NO<sub>x</sub>, АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, АСУТП, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объект исследования система пылеприготовления котла.

Цель работы: Модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением.

В процессе работы выполняется тепловой расчет котла, аэродинамический расчет пылепроводов системы ПВКд, расчет выбросов оксидов азота NO<sub>x</sub>, разработка технического решения по модернизации системы ПВКд и влияния на производительность от внедрения частотно-регулируемого привода тягодутьевых механизмов.

В результате работы выполнен анализ эффективности поддержания режимов работы парогенератора в регулирующем и базовом режиме, рассмотрены существующие технологические мероприятия по снижению выбросов NO<sub>x</sub>. Разработана схема автоматического регулирования процессами горения и парообразования с внедрением АСУТП.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016; для выполнения расчетов, построению моделей и графиков Microsoft Excel 2016; выполнения чертежей и рисунков Microsoft Visio 2013, КОМПАС-3D v16, Paint.net.

## Содержание

Реферат .....	7
Введение.....	10
1 Описание котла Е-250-9,8-545 КТ .....	12
1.1 Общее описание котельной установки .....	12
1.2 Описание котла .....	13
2 Система пылеприготовления .....	23
2.1 Описание системы пылеприготовления с промбункером .....	23
2.2 Система подачи пыли высокой концентрации под давлением .....	26
3 Тепловой расчет котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ.....	29
3.1 Исходные данные для теплового расчета.....	29
3.2 Теоретически необходимые объемы воздуха и продуктов сгорания.....	30
3.3 Определение коэффициентов избытка воздуха .....	31
3.4 Определение энтальпий воздуха и продуктов сгорания.....	32
3.5 Определение элементов теплового баланса котельного агрегата.....	34
3.6 Расчет теплообмена в топке.....	38
4 Аэродинамический расчет системы ПВКд.....	43
4.1 Исходные данные.....	43
4.2 Аэродинамический расчет пылепровода ПВКд .....	44
5 Модернизация системы пылеприготовления .....	47
5.1 Экологические показатели для проведения модернизации.....	47
5.1.1 Факторы, влияющие на природную среду и климат .....	47
5.1.2 Влияние вредных выбросов оксидов азота .....	47
5.1.3 Мероприятия по снижению выбросов оксидов азота .....	49
5.1.4 Расчет выбросов в атмосферу окислов азота .....	51
5.1.5 Результаты внедрения технологий по снижению выбросов .....	52
5.2 Анализ существующих системы пылеприготовления с ПВКд.....	53
5.3 Техническое решение системы пылеприготовления с ПВКд .....	56
6 Автоматизация процессов горения и парообразования .....	61
6.1 Сигнализации, защиты и блокировки в системе ПВКд.....	61
6.2 Описание системы автоматического регулирования .....	63

6.3 Технические средства системы автоматизации .....	67
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	70
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	70
7.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	70
7.1.2 SWOT-анализ .....	73
7.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	76
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	76
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	77
7.3 Бюджет научно-технического исследования .....	81
7.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования ..	81
7.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	81
7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	82
7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	84
7.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	85
7.3.6 Накладные расходы .....	85
7.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	85
7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	86
8 Социальная ответственность .....	92
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	93
8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	93
8.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны .....	95
8.2 Производственная безопасность .....	96
8.3 Экологическая безопасность.....	102
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	104
Заключение .....	107
Список использованных источников .....	109
Приложение А – Схема автоматизации АСР регулятора тепловой нагрузки .....	113

## Введение

Производство электрической и тепловой энергии на угольной ТЭС сопровождается негативным воздействием на окружающую среду, в виде выбросов вредных газообразных продуктов сгорания и твердых частиц в атмосферу, сбросом загрязненных стоков в гидросферу и изъятием значительных земельных площадей под золошлаковые отходы. Выбросы в атмосферу являются одной из основных экологических проблем [18].

Так как энергетическая деятельность является основным источником выбросов парниковых газов в Республике Казахстан, инновации и экопроекты в этом сегменте — ключ к предотвращению худших последствий для климата и экосистемы в целом. Глобальный переход от ископаемого топлива к чистой энергии является важнейшим вызовом нашего времени и имеет решающее значение для достижения «Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», как и для людей и планеты в целом. В настоящее время 78,1% вырабатываемой электрической энергии приходится на тепловые электростанции, работающие на угле, а сектор возобновляемых источников энергии составляет незначительную часть: на ветровые электростанции приходится 2%, на солнечные электростанции — 1,8%, на биоэнергетику — и вовсе мизерная доля [37].

Полная углеродная нейтральность в ближайшие несколько десятилетий не может быть достигнута. В этой связи очень важным является внедрение доступных технологий на угольных станциях по снижению выбросов. Одним из самых опасных является выбросы оксидов азота  $\text{NO}_x$ . Оксиды азота отрицательно влияют на здоровье человека; как парниковый газ обладает высокой поглощательной способностью в ультрафиолетовой области спектра; в реакции с водяными парами образуют кислотные дожди, наносящие большой ущерб водным и лесным экосистемам.

Для уменьшения выбросов оксидов азота NO<sub>x</sub> в настоящее время существуют достаточно технологий и мероприятий, внедрение которых на пылеугольных котлах активно применяется.

В данной работе рассматривается одна из технологий модернизация пылесистемы с подачей пыли высокой концентрации под давлением. Рассматриваются вопросы по повышению энергоэффективности, надежности, экономичности работы котельных установок, а также улучшение экологических показателей.

Целью работы является модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением для участия в системе автоматического регулирования котла процессами горения. Будет проведен анализ эффективности поддержания режимов работы парогенератора в регулирующем и базовом режиме, влияние на экологические показатели.

Для этого необходимо будет решить следующие задачи:

- выполнить анализ технологической схемы котла;
- выполнить анализ системы пылеприготовления котла;
- выполнить тепловой расчет котла;
- выполнить аэродинамический расчет системы ПВКд;
- выполнить анализ экологических показателей и провести расчет выбросов оксидов азота;
- выполнить анализ существующих схем систем ПВКд, выявить достоинства и недостатки;
- разработать техническое решение по внедрению систем ПВКд;
- разработать схему системы автоматического регулирования;
- выполнить разделы финансового менеджмента и социальной ответственности.

## **1 Описание котла Е-250-9,8-545 КТ**

### **1.1 Общее описание котельной установки**

Котельная установка с котлом Е-250-9,8-545 КТ входит в состав основного оборудования ГРЭС ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар», имеет стационарный №3. ГРЭС предназначена для выработки электрической энергии для потребления в регионах Казахстана, а также для теплоснабжения поселка Топар и города Абай. Станция с поперечными связями, всего на ГРЭС установлено 16 энергетических котлов высокого давления и 8 паровых турбин.

Котельная установка оснащена следующим оборудованием:

- двумя дутьевыми вентиляторами типа ВДН-18;
- двумя дымососами (ДС) типа ДН-22х2;
- восемь пылеугольными горелками, расположенными тангенциально в районах углов топки в два яруса;
- четырем растопочными паро-акустическими мазутными форсунками типа “Факел”, установленными на боковых стенах топки на отметке пылеугольных горелок нижнего яруса;
- четырем запально-защитными устройствами ЗСУ-ПИ-60 с датчиками селективного контроля пламени ФДСА-03М для розжига и контроля мазутного факела форсунок;
- двумя группами сопел нижнего воздушного дутья, расположенными на скатах холодной воронки фронтального и заднего экранов топки;
- четырем соплами для сброса отработавшего сушильного агента, расположенными на боковых стенках топки;
- четырем соплами третичного дутья, расположенными тангенциально над сбросными соплами пылесистем;
- двумя индивидуальными системами пылеприготовления, работающими по схеме с промбункером и подачей пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд).

## 1.2 Описание котла

### 1.2.1 Технические характеристики котла

Паровой котел типа Е-250-9,8-545 КТ, производства ОАО ТКЗ «Красный котельщик», однобарабанный, с естественной циркуляцией, с уравновешенной тягой, газоплотный, с мембранными экранами предназначен для получения пара при сжигании каменных угля Борлинского месторождения, разрез «Молодежный». с твердым шлакоудалением. Растопочное топливо - мазут марки М100 [5].

Компоновка котла выполнена по П-образной схеме приведена на рисунке 1, вид в разрезе с указанием схем размещения пылеугольных горелок на рисунке 2. Топка является подъемным газоходом. В горизонтальном газоходе расположен пароперегреватель. В опускном газоходе расположены экономайзер и воздухоподогреватель.

Объем топки ..... 1212,5 м<sup>3</sup>.

Общий объем водяного тракта котла ..... 53,00 м<sup>3</sup>:

топка с опускной и пароотводящей системой ..... 32,70 м<sup>3</sup>;

экономайзер и конденсатор с трубопроводами ..... 9,85 м<sup>3</sup>;

водяной объем барабана ..... 10,45 м<sup>3</sup>.

Общий объем парового тракта котла составляет ..... 27,85 м<sup>3</sup>:

пароперегреватель и пароперепускные трубы..... 17,40 м<sup>3</sup>;

паровой объем барабана..... 10,45 м<sup>3</sup>.

Номинальные параметры котла:

Паропроизводительность ..... 250 т/ч,

давление в барабане ..... 11,3 МПа,

рабочее давление перегретого пара ..... 9,7 МПа,

температура перегретого пара ..... 545 °С,

температура питательной воды ..... 215 °С,

диапазон изменения производительности с сохранением параметров пара 60-100 % от номинальной.

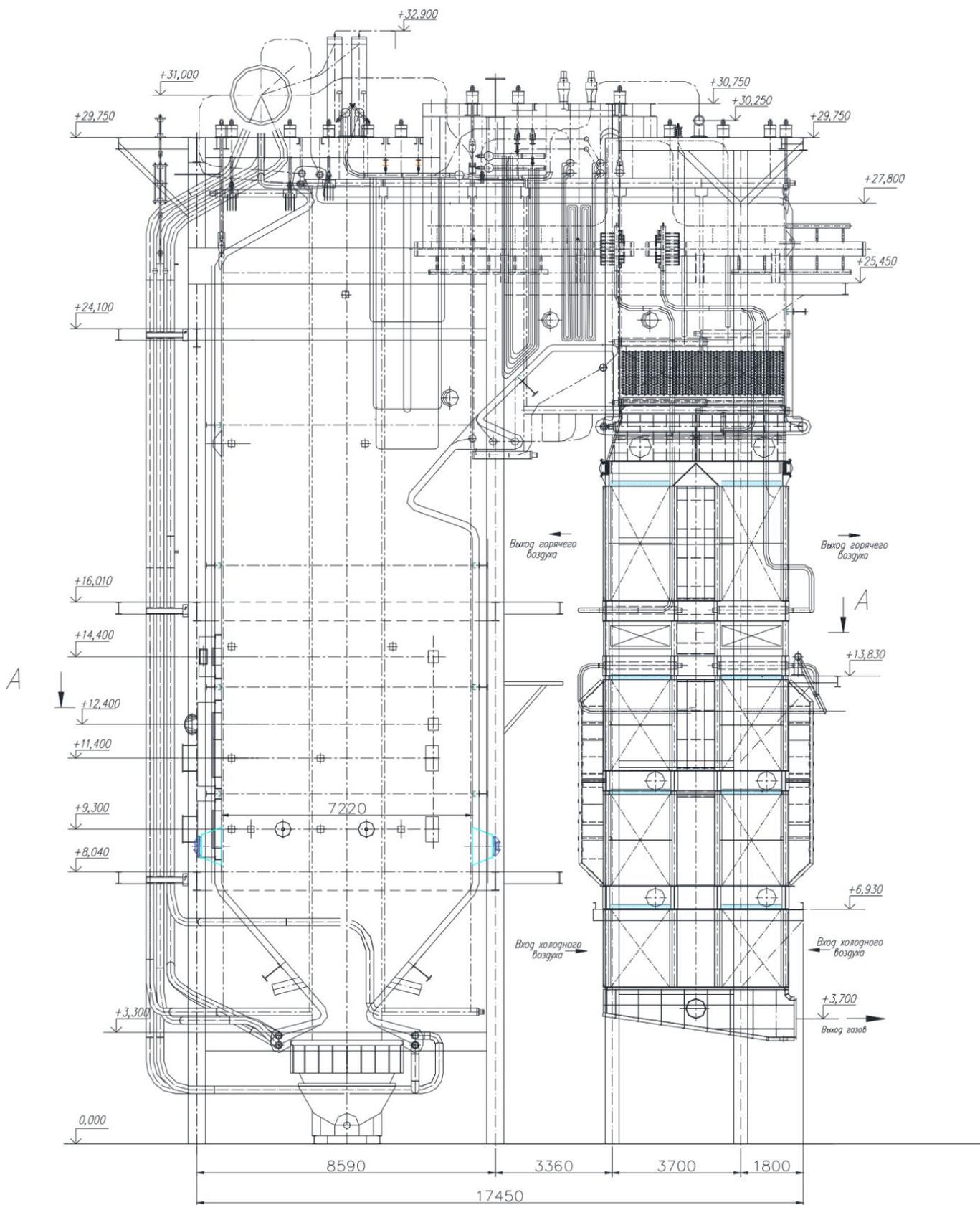


Рисунок 1 – Общий вид парового котла E-250-9,8-545 КТ

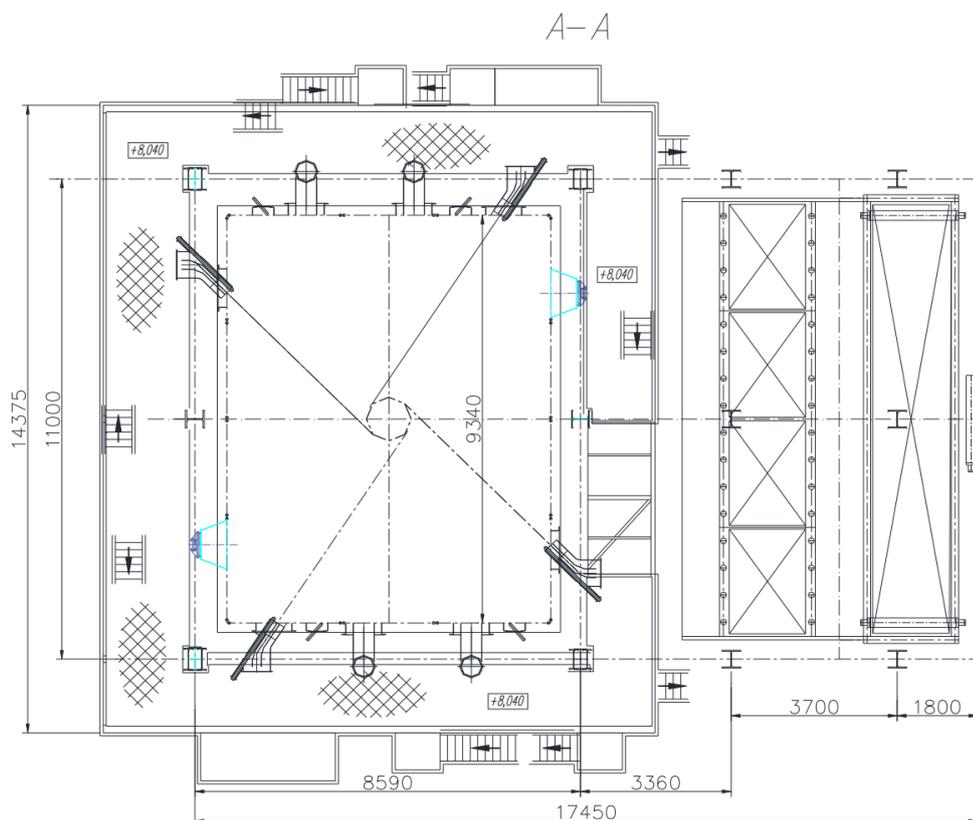


Рисунок 2 – Вид парового котла E-250-9,8-545 КТ в разрезе

### 1.2.2 Топочно-горелочное устройство

#### Топка

Топка открытого типа, призматической формы имеет размеры 7220x9340 мм. Стены топки полностью экранированы цельносварными газоплотными панелями из труб диаметром 60x5, сталь 20, шаг труб в панелях топочных экранов – 80 мм.

Фронтальной и задней экраны топки в нижней части образуют скаты холодной воронки. В верхней части топки трубы заднего экрана образуют аэродинамический выступ, предназначенный для улучшения аэродинамики газового потока на выходе из топки и частичного затенения поверхности ширмового пароперегревателя. Потолок топки экранирован трубами

#### Горелочное устройство

Топка котла укомплектована восемью прямооточными пылеугольными горелками с подачей пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд), расположенными тангенциально рисунок 2 в два яруса, соплами нижнего и

верхнего дутья, а также сбросными горелками. Отметки установки основных горелок +9,300, +11,400.

Пылеугольная горелка выполнена с индивидуальным подводом воздуха и пыли к каждой горелке. Каждая пылеугольная горелка состоит из воздушного короба, разделенного на три воздушных канала. В одном из каналов воздуха устанавливается сопло подачи пыли.

Индивидуальный подвод воздуха и пыли в каждую горелку позволяет сохранить оптимальный режим работы горелок при изменении нагрузки путем отключения горелок.

Для организации ступенчатого сжигания топлива применена система нижнего и верхнего дутья. В системе нижнего дутья воздушные сопла расположены на скатах холодной воронки, в них подается 15-20% воздуха, необходимого для горения.

Сопла верхнего дутья установлены над основными горелками. На сопла верхнего дутья подается порядка 10% воздуха.

Сброс сушильного агента осуществляется отдельными соплами в зону активного горения. Через сбросные сопла подается до 25% воздуха.

Перераспределение вторичного воздуха между горелками, верхним и нижним дутьем, сбросными соплами позволяет уменьшить выбросы NOx, регулировать скоростной режим горелок, способствует снижению температуры газов на выходе из топки за счет снижения уровня горения факела, что растягивает зону горения и увеличивает тепловосприятие холодной воронки.

Примененная система подачи пыли высокой концентрации под давлением также приводит к значительному снижению NOx.

Растопочные горелки установлены на боковых экранах на отметке нижнего яруса основных горелок. Суммарная производительность всех четырех мазутных форсунок обеспечивает до 30% от номинальной нагрузки котла. Для растопки котла приняты пароакустические форсунки типа «Факел».

Давление пара на распыл мазута перед форсунками не менее  $5 \text{ кгс/см}^2$ , температура  $250 \div 300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Максимальный расход мазута при растопке котла  $5372 \text{ кгс/ч}$  при  $Q_i^r = 9460 \text{ ккал/кг}$ .

### **1.2.3 Барабан, сепарационные устройства**

Барабан котла внутренним диаметром  $1600 \text{ мм}$ , длиной цилиндрической части  $9600 \text{ мм}$  и толщиной стенки  $95 \text{ мм}$  выполнен из стали 22К.

Средний уровень воды в барабане расположен на  $200 \text{ мм}$  ниже геометрической оси барабана. Рабочий диапазон отклонений уровня  $\pm 50 \text{ мм}$  от среднего, уставка предупредительной сигнализации  $\pm 65 \text{ мм}$  от среднего.

Для предотвращения аварийных режимов, повышения уровня в барабане котла, установлена система аварийного слива.

Питательная вода после экономайзера поступает в питательные короба барабана. На промывку пара подается вся питательная вода, что обеспечивает дополнительную деаэрацию воды и подогрев ее до температуры насыщения.

Для обеспечения требуемого качества пара на котле применена схема двухступенчатого испарения с соответствующими сепарационными устройствами.

Первую ступень испарения (чистый отсек) образуют топочные экраны (кроме средних панелей боковых экранов), замыкающиеся на барабан.

Вторую ступень испарения (солевой отсек) составляют средние панели боковых экранов, замыкающиеся на выносные циклоны.

Для обеспечения нормального солевого режима в котле предусмотрены:

- линия регулирования кратности концентрации по ступеням испарения;
- линии выравнивания кратности концентраций между правой и левой сторонами второй ступени испарения;
- линии непрерывной продувки циклонов;
- линии периодической продувки нижних коллекторов экранов;

– линия ввода фосфатов в барабан для обработки котловой воды.

#### **1.2.4 Пароперегреватель**

Пароперегреватель котла по характеру восприятия тепла радиационно-конвективного типа.

Радиационную часть пароперегревателя образуют панели потолка над топкой.

Полурадиационная часть пароперегревателя – ширмы (ШПП), расположенные в верхней части топки.

Конвективная часть пароперегревателя расположена после ширм в горизонтальном газоходе, в начале газохода – III и IV ступени (КПП 3 и КПП 4), далее по ходу газов – первая ступень (КПП 1).

Стены горизонтального газохода и поворотной камеры, до воздухоподогревателя, экранированы газоплотными панелями, включенными в паровой тракт.

Пар после выхода из барабана по пароперепускным трубам проходит следующие поверхности нагрева:

1. Потолочный пароперегреватель, образующий потолок топки, горизонтальный газоход, поворотный газоход и задняя стена поворотного газохода. Далее пар проходит под горизонтального газохода и собирается в верхних коллекторах;

2. Конвективный пароперегреватель КПП1, состоящий из 77 трехниточных пакетов из труб 32x4 мм, в собирающие коллекторы. Ход пара в КПП1 – противоток, шаг труб в направлении, перпендикулярном направлению движения газов – 50 мм.

3. Ширмовый пароперегреватель ШПП, восемь крайних ширм (по четыре с каждой стороны котла). Трубы крайних ширм 32x4,5 мм, выполнены из стали 12X1МФ, количество труб в каждой ширме – 23;

4. Пароохладитель первой ступени левый и правый, в которых осуществляется первый переборос двух параллельных потоков пара между сторонами котла;

5. ШПП восемь средних ширм. Конструкция средних ширм идентична крайним. Движение пара в ШПП – прямоточное, поперечный шаг – 560 мм. После средних ширм пар собирается в двух перепускных коллекторах;

6. Конвективный пароперегреватель КППЗ, выполнен в виде 10 микроблоков на краях газохода. Трубы поверхностей нагрева КППЗ 32x5, сталь 12X1МФ. Далее пар собирается в двух выходных коллекторах;

7. Пароохладитель второй ступени левый и правый, после которого выполнен второй переброс потоков на противоположные стороны котла;

8. Конвективный пароперегреватель КПП4, собран в виде 10 микроблоков, занимает центральную часть сечения газохода котла. Трубы поверхностей нагрева КПП4 32x5, сталь 12X1МФ. Движение пара в КППЗ и КПП4 – прямоточное. Трубы поверхностей нагрева КППЗ и КПП4 расположены с поперечным шагом 120 мм;

9. Паросборный коллектор из трубы 325x36 мм, сталь 12X1МФ, с правой стороны котла, за которым установлена главная паровая задвижка (ГПЗ) с электроприводом. Выход перегретого пара – односторонний.

#### Регулирование температуры пара

Для регулирования температуры пара применяют две ступени пароохладителей. Пар в первую ступень поступает из крайних ширм, во вторую ступень третьей ступени конвективного пароперегревателя. Регулирование выполняется впрыском "собственного" конденсата. Конденсат получают в конденсаторах котла охлаждением насыщенного пара из барабана котла питательной водой, поступающей после экономайзера первой ступени. После конденсатора, вода подается в экономайзер второй ступени.

Подача конденсата в пароохладители первой ступени осуществляется за счет перепада давлений между конденсатором и коллектором каждого из пароохладителей. Для увеличения перепада в коллекторах пароохладителей первой ступени установлены паровые эжекторы.

### **1.2.5 Водяной экономайзер**

В опускном газоходе размещены "в рассечку" экономайзер и трубчатый воздухоподогреватель.

Вторая ступень экономайзера выполнена четырехниточной из труб 32x4 мм, сталь 20, спирально-оребреной, с шахматным расположением теплообменных труб.

Из выходных коллекторов экономайзера второй ступени вода направляется в барабан котла.

Экономайзер первой ступени четырехниточный (выполнен из труб 32x4 мм, сталь 20), спирально-оребреной, с шахматным расположением теплообменных труб. Теплообменные трубы обеих ступеней экономайзера расположены параллельно фронтальной и задней стенам газохода.

Для питания котла водой применяется одноступенчатая схема.

Конструктивно узел питания состоит из двух параллельных линий разного диаметра труб. Основная питательная линия с регулирующим клапаном Ду175, обеспечивает работу котла при работе в базовом и регулирующем режиме. Байпас с регулирующим клапаном Ду100 предназначен для заполнения котла водой, выполнения подпитки при растопке котла, а также во время работы котла на сниженных нагрузках.

### **1.2.6 Воздухоподогреватель**

Подогрев воздуха осуществляется в трубчатом воздухоподогревателе (ВЗП).

Конструктивно трубчатый воздухоподогреватель выполнен по воздушной стороне по двухпоточной схеме трехходовым в виде кубов традиционной конструкции из труб 40x1,5, сталь Ст3пс5.

Воздухоподогреватель (кроме нижних кубов) и первая ступень экономайзера конструктивно свободно опираются друг на друга и далее на раму несущего каркаса опускного газохода котла. При этом обеспечивается высокая плотность воздухоподогревателя как по газу, так и по воздуху.

Подвесные кубы имеют высоту 2,3 м, два яруса кубов первой ступени ВЗП выше подвесных – по 2,7 м каждый ярус. Кубы второй ступени ВЗП (расположенные выше первой ступени экономайзера) – высотой 3,4 м.

Для предварительного подогрева воздуха на входе в воздухоподогреватель предусмотрены калориферы КПСк-2 и рециркуляция горячего воздуха на всас дутьевого вентилятора.

### **1.2.7 Устройство непрерывного шлакоудаления**

Для удаления шлака из топочной камеры установлены два шнековых аппарата шлакоудаления с верхним расположением привода. В систему шлакоудаления входят дробилки шлака, по одной на каждый шнековый транспортер.

Транспортер и привод установлены под углом 20° к горизонтали.

Привод транспортера оборудован системой сигнализации при заклинивании, защитой электродвигателя от перегрузки при заклинивании и реверсивным пусковым устройством для реверса шнека при расклинивании.

Для предотвращения износа нижнего подшипника транспортера из-за попадания частиц шлака к трущимся поверхностям нижнего подшипника к нижней опоре шнека организована непрерывная подача воды под давлением.

### **1.2.8 Тягодутьевая установка**

Котел оборудован двумя дутьевыми вентиляторами типа ВДН-20К с частотой вращения 1000 об/мин.

Расчетная характеристика тракта дутьевого вентилятора:

- расчетная производительность с запасом 10% 150000 м<sup>3</sup>/ч;
- полный напор с запасом 20% при температуре рабочей среды 30 °С и указанной производительности – 4068 Па (415 кгс/м<sup>2</sup>).

Регулирование производительности вентиляторов осуществляется осевыми направляющими аппаратами. Забор холодного воздуха на вход в дутьевой вентилятор производится с улицы или при необходимости из помещения котельного цеха.

Для удаления дымовых газов из котла установлены два дымососа типа ДН-22х2ФК с частотой вращения 750 об/мин.

Расчетная характеристика тракта дымососа:

- расчетная производительность с запасом 10% 238000 м<sup>3</sup>/ч;
- полный напор с запасом 20% при температуре рабочей среды 90 °С и указанной производительности – 3812 Па (389 кгс/м<sup>2</sup>).

Регулирование производительности каждого дымососа осуществляется направляющими аппаратами шиберного типа.

### **1.2.9 Очистка дымовых газов**

Для очистки дымовых газов от золы предусмотрены два батарейных эмульгаторами II поколения.

Для повышения температуры уходящих газов выше точки росы в газоходах за золоуловителями и недопущения налипания мокрой золы на лопатки дымососов предусмотрен подвод горячего воздуха, забираемого после второй ступени воздухоподогревателя.

Температура газов после смешения с горячим воздухом должна поддерживаться не ниже 70°С. Присосы холодного воздуха в золоуловители должны быть не более 5%.

### **1.2.10 Система пылеприготовления**

Котел оборудован двумя индивидуальными системами пылеприготовления с промбункером и подачей пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд).

Описание и технические характеристики системы пылеприготовления приведены в разделе 2.

## 2 Система пылеприготовления

### 2.1 Описание системы пылеприготовления с промбункером

Котел оборудован двумя индивидуальными системами пылеприготовления с промбункером и подачей пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд) [5] схема приведена на рисунке 3.

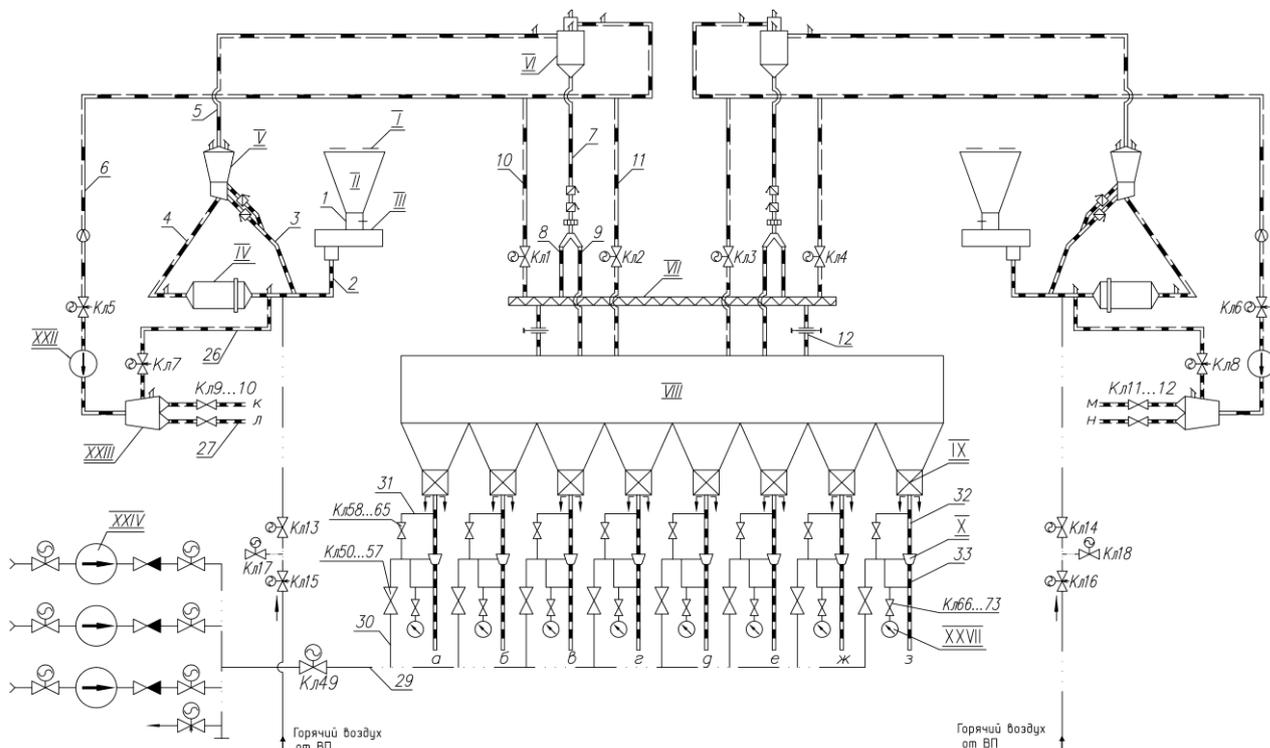


Рисунок 3 – Схема пылеприготовления с промбункером и подачей пыли высокой концентрации под давлением

Каждая пылесистема включает следующее оборудование:

- поз. I – ленточный транспортер сырого угля;
- поз. II – бункер сырого угля;
- поз. III – шнековый питатель сырого угля (ПСУ);
- поз. IV – шаровая барабанная мельница типа ШБМ 287/470;
- поз. V – сепаратор угольной пыли типа СПЦВ 3300/1200;
- поз. VI – пылевой циклон ЦП 2-2500;
- поз. VII – пылевой шнек;
- поз. VIII – пылевой бункер;
- поз. XXII – мельничный вентилятор ВМ-18Дл;

- поз. XXIII – короб распределительный,  
а также течи, пылепроводы, воздухопроводы:  
поз. 1 – течка сырого угля от бункера до ПСУ;  
поз. 2 – течка сырого угля от ПСУ до мельницы;  
поз. 3 – течка возврата угля из сепаратора;  
поз. 4 – пылепровод мельница-сепаратор;  
поз. 5 – пылепровод сепаратор-циклон;  
поз. 6 – пылепровод циклон-мельничный вентилятор;  
поз. 7 – течка от циклона к переключающему клапану;  
поз. 8 – течка от переключающего клапана к шнеку;  
поз. 9 – течка от переключающего клапана к бункеру пыли;  
поз. 10 – воздухопровод отсоса влаги из шнека;  
поз. 11 – воздухопровод отсоса влаги из бункера пыли;  
поз. 12 – течка из шнека к бункеру пыли;  
поз. 25 – воздухопровод горячего воздуха на мельницы;  
поз. 26 – пылепровод рециркуляции сушильного агента;  
поз. 27 – пылевоздухопровод к сбросному соплу.

Система подачи пыли высокой концентрации под давлением включает следующее оборудование:

- поз. IX – питатель пыли типа ППЛ-5;  
поз. X – эжектор-смеситель;  
поз. XXVI – воздуходувка,  
а также пылепроводы, воздухопроводы:  
поз. 29 – котловой коллектор сжатого воздуха;  
поз. 30 – воздухопровод к эжектору-смесителю;  
поз. 31 – продувочный воздухопровод;  
поз. 32 – пылепровод от пылепитателя к эжектору смесителю;  
поз. 33 – пылепровод системы ПВКд к горелке.

Топливо, каменный уголь разреза «Молодежный» Борлинского месторождения, системой конвейеров с топливоподачи подается на ленточные

транспортеры в галерее главного корпуса, откуда плужковыми сбрасывателями сыпается в точки бункера сырого угля котла.

Из каждого бункера сырого угля питателем сырого угля подается в мельницу. Регулирование подачи топлива осуществляется изменением числа оборотов двигателя ПСУ.

Размол и сушка угля осуществляются в двух шаровых барабанных мельницах типа ШБМ 287/470.

Технические характеристики мельницы шаровой барабанной ШБМ 287/470 завод-изготовитель (АО «ТЯЖМАШ»):

Производительность мельницы, т/ч .....	27,3
Коэффициент размолоспособности, $K_{л0}$ .....	1,45
Тонкость помола, $R_{90}$ , % .....	18
Влажность пыли, $W^{пл}$ , % .....	1,2
Масса загружаемых шаров, не более, т .....	35
Расход сушильно-вентилирующего агента, м <sup>3</sup> /ч .....	55980
Максимальная допустимая температура сушильного агента, °С...	450
Номинальная частота вращения барабана, об/мин .....	19,2
Мощность электродвигателя привода, кВт .....	500
Частота вращения электродвигателя привода, об/мин .....	750
Уровень шума в зоне работы мельницы, дБ .....	80

Для сушки угля используется смесь горячего воздуха с рециркулирующим сушильным агентом.

После каждой мельницы аэросмесь поступает в сепаратор пыли типа СПЦВ 3300/1200. В сепараторе в потоке аэросмеси отделяются мелкие и крупные фракции пыли. Крупные фракции возвращаются на повторное измельчение в мельницу. Требуемая тонина помола достигается установкой в определенное положение лопаток сепаратора.

Технические характеристики сепаратора пыли СПЦВ 3300/1200:

Расход сушильно-вентилирующего агента, тыс. м <sup>3</sup> /ч.....	41-90
Объем сепаратора, м <sup>3</sup> .....	15,7

После сепаратора аэрозоль поступает в циклон типа ЦП 2-2500, где пыль отделяется от сушильного агента и по течке поступает самотеком в бункер пыли. Отработанный сушильный агент после циклона через сбросные сопла подается в топку.

Технические характеристики циклона типа ЦП 2-2500:

Расход сушильного агента, тыс. м <sup>3</sup> /ч .....	58
Температура сушильного агента, °С .....	100
Оптимальная скорость внутри установки, м/с .....	3,8
Массовая концентрация пыли, г/м <sup>3</sup> .....	1500

Для транспортировки сушильного агента установлено два мельничных вентилятора типа ВМ-18Дл.

Технические характеристики мельничного вентилятора типа ВМ-18Дл:

Расчетный расход сушильного агента, м <sup>3</sup> /ч .....	63000
Расчетный напор, Па.....	10885
Частота вращения ротора, об/мин .....	1500
Максимальный КПД, % .....	70
Мощность электродвигателя, кВт .....	375

## **2.2 Система подачи пыли высокой концентрации под давлением**

Для подачи пыли в горелки применена система ПВКд, которая включает следующее оборудование:

- питатели пыли лопастные ППЛ-5;
- вертикальные пылепроводы-стабилизаторы от пылепитателей к смесителям пыли;
- смесители пыли, к которым подводится сжатый воздух;
- пылепроводы ПВКд трубы 76х6 к горелкам в количестве 8 шт;
- три (одна в работе, одна в режиме АВР и одна резервная) воздуходувки типа ТВ-80-1,4. Каждая воздуходувка оснащена обратным клапаном и задвижкой на линии нагнетания, и задвижкой на всасывании;

- противопомпажный регулирующий клапан ситуаций установлен на общем коллекторе ПВКд;
- воздушный коллектор ПВКд на котел;
- воздухопроводы трубы 57х3,5 к смесителям пыли.

Краткая характеристика воздуходувок типа ТВ-80-1,4:

Производительность, м <sup>3</sup> /мин .....	100
Избыточное давление, кПа.....	42
Частота вращения, об/мин.....	3000
Мощность электродвигателя, кВт .....	85,5

Характеристика пылепитателей ППЛ-5:

Производительность минимальная, т/ч .....	1,4
Производительность максимальная, т/ч.....	5,0
Диапазон регулирования частоты вращения лопастей.....	10:1
Мощность электродвигателя, кВт.ч.....	1,5
Частота вращения, об/мин.....	1500

### **Работа системы ПВКд**

Пыль из пылепитателя поступает в вертикальный пылепровод-стабилизатор. Стабилизатором пыль подается в смеситель пыли. Пылепровод стабилизатора должен быть вертикальным, из гладкой трубы.

Назначение стабилизатора – защитить пылепитатель и бункер пыли от прорыва сжатого воздуха из смесителя. Эффект достигается созданием под пылепитателем разрежения за счет работы столба пыли, как поршня.

Производительность ПВКд связана с высотой стабилизатора и давлением воздуха перед соплом.

От конструкции смесителя пыли в очень сильно зависит эффективность работы схемы ПВКд. Основные требования к смесителю – минимальное сопротивление и эффективность эвакуации пыли из смесителя. В смесителях установлены сопла с выходным диаметром 14-18 мм, которые увеличивают скорость воздуха на выходе из сопла до 140-230 м/с.

При отключенном пылепитателе сопротивление пылепровода воздуху незначительно, а смеситель работает как эжектор, который создает под пылепитателем разрежение.

При включении пылепитателя пыль падает вниз по стабилизатору под действием собственной тяжести и разрежения за соплом, где потоком воздуха увлекаются в подающий пылепровод. Резкое увеличение плотности потока в пылепроводе вызывает увеличение аэродинамического сопротивления. Давления за соплом увеличивается, пока не станет избыточным. В стабилизаторе образуется столб пыли, сила тяжести которого уравнивает избыточное давление.

Технические параметры работы ПВКд:

Общий расход воздуха на пылепроводы ПВКд, м <sup>3</sup> /час .....	1112;
Концентрация пыли в смеси при номинальной нагрузке, кг/кг.....	40;
Доля транспортирующего воздуха от общего расхода воздуха на горение, % .....	0,7;
Скорость аэросмеси в пылепроводах, м/сек .....	12;
Высота вертикального пылепровода-стабилизатора, м.....	4,0;
Давление в воздушном коллекторе ПВКд, кПа.....	40.

### 3 Тепловой расчет котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ

#### 3.1 Исходные данные для теплового расчета

Технические параметры котла:

Паропроизводительность, $D_{пе}$ , т/ч .....	250
Температура питательной воды, $t_{пв}$ , °С .....	215
Температура перегретого пара, $t_{пп}$ , °С.....	545
Давление в барабане котла, $P_б$ , МПа.....	11,3
Давление перегретого пара, $P_{пп}$ , МПа.....	9,8
Температура холодного воздуха, $t_{хв}$ , °С .....	30
Температура на входе в воздухоподогреватель, $t_{вп}$ , °С .....	50
Температура горячего воздуха, $t_{гв}$ , °С .....	359
Температура горячего воздуха, $\vartheta_{уг}$ , °С.....	138

Сжигаемое топливо – каменный уголь Борлинского месторождения, разрез «Молодежный», марка К2.

Расчетные характеристики сжигаемого топлива из [5] приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные характеристики топлива

Рабочая масса топлива, состав %							Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Выход летучих на массу, %	Температурные характеристики золы, °С		
$W^p$	$A^p$	$S^p$	$C^p$	$H^p$	$N^p$	$O^p$			$Q_i^r$	$V_r$	$t_1$
7	42,25	0,5	38,6	3	0,65	8	15,28	30-32	1280	>1500	>1500

### 3.2 Теоретически необходимые объемы воздуха и продуктов сгорания

Объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания рассчитываются на 1 кг жидкого топлива при нормальных условиях (0 °С и 101,3 кПа).

Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сгорания топлива (коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1$ ) по [1]:

$$V_B^0 = 0,0889 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S^P) + 0,265 \cdot H^P - 0,0333 \cdot O^P, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (1)$$

$$V_B^0 = 0,0889 \cdot (38,6 + 0,375 \cdot 0,5) + 0,265 \cdot 3 - 0,0333 \cdot 8 = 3,977 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Теоретические объемы продуктов сгорания, полученные при полном сгорании топлива с теоретически необходимым количеством воздуха ( $\alpha = 1$ ):

– азота

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_O^H + 0,8 \cdot \frac{N_2}{100}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (2)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 3,977 + 0,8 \cdot \frac{0,65}{100} = 3,147 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

– трехатомных газов

$$V_{RO_2}^0 = 0,01866 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S^P), \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (3)$$

$$V_{RO_2}^0 = 0,01866 \cdot (38,6 + 0,375 \cdot 0,5) = 0,724 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

– водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H^P + 0,0124 \cdot W^P + 0,016 \cdot V_B^0, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (4)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot 3 + 0,0124 \cdot 7 + 0,016 \cdot 3,977 = 0,484 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Полный теоретический объем дымовых газов:

$$V_{\Gamma}^0 = V_{N_2}^0 + V_{RO_2}^0 + V_{H_2O}^0 \quad (5)$$

$$V_{\Gamma}^0 = 3,147 + 0,724 + 0,484 = 4,354 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

### 3.3 Определение коэффициентов избытка воздуха

Коэффициент избытка воздуха при сжигании каменных углей с выходом летучих  $V_r \geq 25\%$  принимаем по [1]  $\alpha_T = 1,18$ .

Для газоплотной топочной камеры пылеугольного котла присосы в топке котла принимаем  $\Delta\alpha_T = 0,02$ .

Коэффициент избытка воздуха и присосы по газовому тракту котла сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Присосы воздуха по газовому тракту котла

$\alpha_T$	$\Delta\alpha_T$	$\Delta\alpha_{пп}$	$\Delta\alpha_{эк2}$	$\Delta\alpha_{вп2}$	$\Delta\alpha_{эк1}$	$\Delta\alpha_{вп1}$
1,18	0,02	0	0,02	0,03	0,02	0,03

Присосы в системе пылеприготовления с шаровыми барабанными мельницами при сушке горячим воздухом  $\Delta\alpha_{пл} = 0,1$ .

Коэффициенты избытка воздуха на выходе из каждого устройства котла по ходу движения дымовых газов:

$$\alpha''_T = \alpha_T + \Delta\alpha_T = 1,18 + 0,02 = 1,2$$

$$\alpha''_{пп} = \alpha''_T + \Delta\alpha_{пп} = 1,2 + 0 = 1,2$$

$$\alpha''_{эк2} = \alpha''_{пп} + \Delta\alpha_{эк2} = 1,2 + 0,02 = 1,22$$

$$\alpha''_{вп2} = \alpha''_{эк2} + \Delta\alpha_{вп2} = 1,22 + 0,03 = 1,25$$

$$\alpha''_{эк1} = \alpha''_{вп2} + \Delta\alpha_{эк1} = 1,25 + 0,02 = 1,27$$

$$\alpha''_{вп1} = \alpha''_{эк1} + \Delta\alpha_{вп1} = 1,27 + 0,03 = 1,3$$

При избытке воздуха  $\alpha > 1$  расчет ведется по следующим формулам:

- объем водяных паров

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha_{ср} - 1)V_B^0, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6)$$

- объем дымовых газов

$$V_r = V_r^0 + (\alpha_{ср} - 1)V_B^0, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (7)$$

- объем доли трехатомных газов

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}^0}{V_r} \quad (8)$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}^0}{V_r} \quad (9)$$

– масса продуктов сгорания

$$G_r = 1 - \frac{A^p}{100} + 1,306\alpha V_B^0, \text{ КГ/КГ} \quad (10)$$

– концентрация золы в продуктах сгорания

$$\mu_{yH} = \frac{A^p \alpha_{yH}}{100 G_r}, \text{ КГ/КГ} \quad (11)$$

где  $\alpha_{yH} = 0,95$  – доля уноса золы дымовыми газами. Расчеты средних объемных характеристик продуктов сгорания сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Характеристики продуктов сгорания

Величина	$V_B^0 = 3,977 \text{ м}^3/\text{КГ}; V_{N_2}^0 = 3,147 \text{ м}^3/\text{КГ};$ $V_{RO_2}^0 = 0,724 \text{ м}^3/\text{КГ}; V_{H_2O}^0 = 0,484 \text{ м}^3/\text{КГ}$					
	топка	пароперегреватель	ВЭ2	ВП2	ВЭ1	ВП1
$\alpha''_i$	1,2	1,2	1,22	1,25	1,27	1,3
$\alpha''_{iCP}$	1,2	1,2	1,21	1,235	1,26	1,285
$V_{H_2O}, \text{ м}^3/\text{КГ}$	0,497	0,497	0,497	0,499	0,500	0,502
$V_r, \text{ м}^3/\text{КГ}$	5,150	5,150	5,190	5,289	5,388	5,488
$r_{RO_2}$	0,1405	0,1405	0,1395	0,1368	0,1343	0,1319
$r_{H_2O}$	0,0939	0,0939	0,0932	0,0915	0,0898	0,0882
$r_{\Pi} =$ $= r_{H_2} + r_{H_2O}$	0,2345	0,2345	0,2327	0,2283	0,2241	0,2200
$G_r, \text{ КГ/КГ}$	6,810	6,810	6,862	6,992	7,122	7,251
$\mu_{yH}, \text{ КГ/КГ}$	0,0589	0,0589	0,0585	0,0574	0,0564	0,0554

### 3.4 Определение энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$  и температуре  $\vartheta, ^\circ\text{C}$ :

$$I_{0.B} = V_B^0 (c\vartheta)_B, \text{ КДЖ/КГ} \quad (12)$$

где  $(c\vartheta)_B$  - удельная энтальпия воздуха при расчетных температурах, определяется по [1].

Энтальпия теоретического объема дымовых газов при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$  и температуре  $\vartheta$ , °С:

$$I_{O.\Gamma} = V_{RO_2}^0 (c\vartheta)_{CO_2} + V_{N_2}^0 (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}^0 (c\vartheta)_{H_2O}, \text{ кДж/кг} \quad (13)$$

где  $(c\vartheta)_{CO_2}$ ,  $(c\vartheta)_{N_2}$  и  $(c\vartheta)_{H_2O}$  - удельная энтальпия, соответственно, углекислого газа, азота и водяных паров, при расчетных температурах, определяется по [1].

Энтальпия дымовых газов на 1 кг топлива:

$$I = I_{O.\Gamma} + (\alpha - 1)I_{O.B} + I_{зл}, \text{ кДж/кг} \quad (14)$$

где  $I_{зл}$  - энтальпия золы [1].

$$I_{зл} = (c\vartheta)_{зл} \frac{A^p \alpha_{yH}}{100G_r}, \text{ кДж/кг} \quad (15)$$

Расчеты энтальпии продуктов сгорания сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Энтальпии продуктов сгорания

$\vartheta$ , °С	$I_{O.\Gamma}$ , кДж/кг	$I_{O.B}$ , кДж/кг	$I_{зл}$ , кДж/кг	$I = I_{O.\Gamma} + (\alpha - 1)I_{O.B}$ , кДж/кг					
				топка $\alpha''_T$	ПП $\alpha''_{пп}$	ВЭ2 $\alpha''_{эк2}$	ВП2 $\alpha''_{вп2}$	ВЭ1 $\alpha''_{эк1}$	ВП2 $\alpha''_{вп1}$
100	606,50	527,72	32,43						797,24
200	1228,98	1061,81	67,87						1615,39
300	1871,37	1602,65	105,96					2410,1	2458,13
400	2529,22	2155,43	144,50				3212,6	3255,7	3320,35
500	3203,66	2724,11	183,83			3989,8	4071,5	4126,0	
600	3902,47	3300,75	224,77		4787,4	4853,4	4952,4		
700	4614,97	3893,30	265,71		5659,3	5737,2			
800	5339,80	4489,82	307,85		6545,6				
900	6081,80	5102,25	351,20	7453,5	7453,5				
1000	6834,68	5718,65	394,95	8373,4	8373,4				
1100	7591,21	6343,01	440,31	9300,1	9300,1				
1200	8363,44	6975,32	484,06	10242,6					
1300	9119,93	7611,61	546,27	11188,5					

Продолжение таблицы 5

$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$I_{0,\Gamma},$ кДж/кг	$I_{0,B},$ кДж/кг	$I_{\text{зл}},$ кДж/кг	$I = I_{0,\Gamma} + (\alpha - 1)I_{0,B}, \text{кДж/кг}$					
				топка $\alpha''_{\text{т}}$	ПП $\alpha''_{\text{пп}}$	ВЭ2 $\alpha''_{\text{эк2}}$	ВП2 $\alpha''_{\text{вп2}}$	ВЭ1 $\alpha''_{\text{эк1}}$	ВП2 $\alpha''_{\text{вп1}}$
1400	9904,50	8255,85	635,38	12191,1					
1500	10696,08	8904,07	706,02	13182,9					
1600	11493,70	9556,27	752,98	14157,9					
1700	12300,28	10208,47	828,44	15170,4					
1800	13109,27	10864,64	877,41	16159,6					
1900	13919,71	11528,77	958,08	17183,6					
2000	14735,96	12192,90	1008,25	18182,8					

### 3.5 Определение элементов теплового баланса котельного агрегата

Общее уравнение теплового баланса котла имеет вид [1]:

$$Q_p + Q_{\text{в.вн}} + Q_{\text{ф}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (16)$$

где  $Q_{\text{в.вн}}$  – учитывает тепло горячего воздуха подогретого вне котла и внесенного в топочную камеру,  $Q_{\text{ф}}$  – учитывает тепло от форсуночного дутья,  $Q_2$  – тепловые потери с уходящими дымовыми газами,  $Q_3$  – потери тепла от химической неполноты сгорания топлива,  $Q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива,  $Q_5$  – потери тепла через обмуровку котла в окружающую среду,  $Q_6$  – потери тепла с теплотой шлака.

Располагаемое тепло рабочей массы топлива, если  $i_{\text{тл}}$  – физическое тепло топлива не учитывается:

$$Q_p = Q_{\text{н}}^p + i_{\text{тл}} = 15280 + 0 = 15280 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (17)$$

Тепло, вносимое воздухом, при его подогреве вне котла:

$$Q_{\text{в.вн}} = (\alpha''_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha_{\text{вп}}) \cdot (I_{0\text{к}} - I_{0\text{хв}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (18)$$

где  $I_{0\text{хв}} = 159,84 \text{ кДж/кг}$  – энтальпия теоретически необходимого холодного воздуха на входе в воздушный тракт при  $t_{\text{хв}} = 30^\circ\text{C}$ ;

$I_{0к} = 266,4$  кДж/кг – энтальпия воздуха после калорифера при  $t_k = 50^\circ\text{C}$ ,

$$Q_{в.вн} = (1,18 - 0,2 - 0,1 + 0,06) \cdot (266,4 - 159,8) = 121 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Тепло, вносимое в топку паровым форсуночным дутьем, отсутствует.

Тепловые потери с уходящими дымовыми газами:

$$q_2 = \frac{[I_{yx} - (\alpha_{yx} - \beta') I_{пр} - \beta' I_{0хв}] \cdot (100 - q_4)}{Q_p} \% \quad (19)$$

где  $I_{yx} = 1108,14$  кДж/кг – энтальпия уходящих газов при избытке воздуха  $\alpha_{yx} = 1,3$  и температуре  $\vartheta_{yx} = 138^\circ\text{C}$ ;

$\beta'$  – отношение количества воздуха на входе в воздушный тракт к теоретически необходимому:

$$\beta' = \alpha''_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл} + \Delta\alpha_{вп} + \beta_{изб} \quad (20)$$

где  $\alpha''_T$  – коэффициент избытка воздуха на выходе из топки,  $\Delta\alpha_T$  – присос воздуха в топку,  $\Delta\alpha_{пл}$  – присос в системе пылеприготовления,  $\Delta\alpha_{вп}$  – присосы воздуха в воздухоподогреватели,  $\beta_{изб}$  – отношение избыточного воздуха к теоретически необходимому.

$$\beta' = 1,2 - 0,02 - 0,1 + 0,06 + 0,15 = 1,29$$

$q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания, для камерных топок с твердым шлакоудалением, при сжигании твердого топлива, принимаем равным  $q_4 = 2,5\%$ .

Энтальпия присасываемого в газоходы котла воздуха принимаем как средневзвешенную:

$$I_{0 прс} = \frac{(\Delta\alpha_T + \sum \Delta\alpha_{пп} + \sum \Delta\alpha_{эк}) \cdot I_{0 хв} + \sum \Delta\alpha_{вп} \cdot I_{0 гв}}{\sum \Delta\alpha_{пп} + \sum \Delta\alpha_{эк} + \sum \Delta\alpha_{вп}} \quad (21)$$

где  $I_{0гв} = 1086,15$  кДж/кг – энтальпия теоретически необходимого горячего воздуха при средней температуре горячего воздуха на воздухоподогревателях при  $t_{ср.гв} = 204,5^\circ\text{C}$ .

$$I_{0 прс} = \frac{(0,02 + 0 + 0,04) \cdot 159,84 + 0,06 \cdot 1086,15}{0 + 0,04 + 0,06} = 747,59 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Тепловые потери с уходящими дымовыми газами

$$q_2 = \frac{[1108,14 - (1,3 - 1,29) \cdot 749,59 - 1,29 \cdot 159,84] \cdot (100 - 2,5)}{15280} = 5,71\%$$

Потери тепла от химической неполноты сгорания в топке принимаются  $q_3 = 0\%$

Потери тепла через обмуровку котла в окружающую среду принимается при номинальной нагрузке  $D_{пе} = 69,44 \text{ кг/с}$ :

$$q_5 = q_{5ном} = \frac{(60/D_{пе})^{0,5}}{lg D_{пе}} = \frac{(60/69,44)^{0,5}}{lg 69,44} = 0,5\% \quad (22)$$

Потери тепла с теплотой шлака, для котла, работающего на мазуте, отсутствуют, тогда

$$q_6 = \frac{\alpha_{шл}(c\vartheta)_{зл}A^p}{Q_p} \% \quad (23)$$

где  $\alpha_{шл} = 1 - \alpha_{ун} = 1 - 0,95 = 0,05$  – доля золы топлива, переходящая в шлак;

$(c\vartheta)_{зл} = 560 \text{ кДж/кг}$  – энтальпия шлака при температуре шлака при твердом шлакоудалении  $t_{шл} = 600^\circ\text{C}$ ,

$$q_6 = \frac{0,05 \cdot 560 \cdot 42,25}{15280} = 0,08\%$$

Суммарные потери тепла в котле:

$$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \% \quad (24)$$

$$\Sigma q = 5,71 + 0 + 2,5 + 0,5 + 0,08 = 8,79\%$$

Коэффициент полезного действия котла брутто:

$$\eta_k^{бр} = 100 - \Sigma q = 100 - 8,79 = 91,21\% \quad (25)$$

Коэффициент сохранения тепла:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_k^{бр} + q_5} = 1 - \frac{0,5}{91,21 + 0,5} = 0,995 \quad (26)$$

Полное количество тепла, полезно использованное в котле:

$$Q_1 = Q_k = D_{пе}(i_{пе} - i_{пв}) + D_{пр}(i'_s - i_{пв}) + Q_{изб} \text{ кВт} \quad (27)$$

где  $D_{пе} = 69,44 \text{ кг/с}$  – количество выработанного перегретого пара;

$i_{пе} = 3492,45 \text{ кДж/кг}$  – энтальпия перегретого пара при  $t_{пп} = 545^\circ\text{C}$  и давлении перегретого пара  $P_{пп} = 9,8 \text{ МПа}$ ,

$i_{пв} = 924,03$  кДж/кг – энтальпия питательной воды при  $t_{пв} = 215^\circ\text{C}$  и давлении питательной воды  $P_{пв} = 1,1P_6 = 1,1 \cdot 11,3 = 12,43$  МПа;

$D_{пр} = 0,02 \cdot D_{пе} = 0,02 \cdot 69,44 = 1,389$  кг/с – расход пара на продувку котла с энтальпией воды в барабане котла  $i'_s = 1462,72$  кДж/кг в состоянии насыщения при давлении  $P_6 = 11,3$  МПа;

$Q_{изб}$  – тепло избыточного воздуха, подаваемого в уходящие газы после золоуловителя:

$$Q_{изб} = \beta_{изб}(I_{0гв} - I_{0ух.з})B_p, \text{ кВт} \quad (28)$$

где  $I_{0гв} = 1921,75$  кДж/кг – энтальпия теоретически необходимого горячего воздуха на выходе из воздухоподогревателя при  $t_{гв} = 359^\circ\text{C}$ ;

$I_{0ух.з} = 797,2$  кДж/кг – энтальпия уходящих газов после золоуловителя при  $t_{ух.з} = 100^\circ\text{C}$ ;

$\beta_{изб} = 0,15$  – отношение избыточного воздуха к теоретически необходимому;

$B_p = 12,5$  кг/с – принятый расчетный расход топлива,

$$Q_{изб} = 0,15 \cdot (1086,1 - 797,2) \cdot 12,5 = 542 \text{ кВт}$$

Количество тепла, полезно использованное в котле:

$$Q_1 = Q_k = 64,44 \cdot (3492,45 - 924,03) + 1,39 \cdot (1462,72 - 924,03) + 542 = 179652 \text{ кВт}$$

Расход топлива, подаваемого в топку [1]:

$$B = \frac{Q_1}{\frac{Q_p \eta_k^{бр}}{100} + Q_{в.вн} + Q_\phi} = \frac{179652}{\frac{15280 \cdot 91,21}{100} + 121 + 0} = 12,778 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (29)$$

Расчетный расход топлива, с учетом механической неполноты сгорания топлива:

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = 12,778 \cdot \left(1 - \frac{2,5}{100}\right) = 12,459 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (30)$$

Для расчета удельных объемов, энтальпии газов и воздуха поправка на механическую неполноту сгорания не вносится. Расчет системы пылеприготовления, горелок, топливоподачи ведется по полному расходу топлива  $B$ , а аэродинамический расчет тяги и дутья по расчетному  $B_p$ .

### 3.6 Расчет теплообмена в топке

#### 3.6.1 Конструктивные характеристики топки котлоагрегата:

- глубина топки  $a_T = 9,34$  м;
- ширина топки  $b_T = 7,22$  м;
- высота топки  $H_T = 16$  м;
- высота первого яруса горелок  $h_{Г1} = 1,3$  м;
- высота второго яруса горелок  $h_{Г2} = 3,4$  м;
- горелки расположены тангенциально, число горелок в первом и втором ярусах  $n_1 = 4, n_2 = 4$ ;
- площадь потолка  $F_{П} = 43$  м<sup>2</sup>;
- площадь газового окна  $F_{Г0} = 72,9$  м<sup>2</sup>;
- общая поверхность стен топочной камеры  $F_{СТ} = 679,4$  м<sup>2</sup>;
- площадь экранов топки  $F_{ЭК} = 533,6$  м<sup>2</sup>;
- объем топочной камеры  $V_T = 1212,5$  м<sup>3</sup>.

Эффективная толщина излучающего слоя объёма топки:

$$s = 3,6 \cdot \frac{V_T}{F_{СТ}} = 3,6 \cdot \frac{1221,5}{679,4} = 6,425 \text{ м} \quad (31)$$

#### 3.6.2 Тепловые характеристики

##### 3.6.2.1 Коэффициент тепловой эффективности:

$$\psi = \chi \zeta \quad (32)$$

где  $\chi$  – угловой коэффициент экранов, определяется по номограммам [1]:

- для экранных труб  $\chi_{ЭК} = 0,98$ ;
- для потолочного пароперегревателя  $\chi_{П} = 0,89$ ;
- для ширм  $\chi_{Г0} = 1$ .

$\zeta$  – коэффициент, учитывающий снижение тепловосприятия экрана при его загрязнении или закрытии его поверхности изоляцией, определяется по [1] для пыли каменных углей  $\zeta = 0,45$ .

Среднее значение коэффициента тепловой эффективности:

$$\psi_{\text{ср}} = \frac{\psi_{\text{эк}} \cdot F_{\text{эк}} + \psi_{\text{го}} \cdot F_{\text{го}} + \psi_{\text{п}} \cdot F_{\text{п}}}{F_{\text{ст}}} \quad (33)$$

$$\psi_{\text{ср}} = \frac{0,98 \cdot 0,45 \cdot 533,6 + 1 \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot 72,9 + 0,89 \cdot 0,45 \cdot 43}{679,4} = 0,415$$

3.6.2.2 Параметр  $M$ , учитывающий влияние на интенсивность теплообмена относительно уровня расположения горелок. Для камерных топок  $M$  рассчитывается по формуле:

$$M = M_0 (1 - 0,4 \cdot x_{\Gamma}) \cdot \sqrt[3]{r_V} \quad (34)$$

где  $M_0 = 0,46$  – коэффициент, для пылеугольных топок с твердым шлакоудалением при тангенциальном расположении горелок;

$x_{\Gamma}$  – относительный уровень расположения горелок в топке, при двухъярусном расположении горелок производится усреднение высот:

$$h_{\Gamma} = \frac{n_1 \cdot B_1 \cdot h_{r1} + n_2 \cdot B_2 \cdot h_{r2}}{n_1 \cdot B_1 + n_2 \cdot B_2}, \text{ м} \quad (35)$$

$$h_{\Gamma} = \frac{4 \cdot 1,597 \cdot 1,3 + 4 \cdot 1,597 \cdot 3,4}{4 \cdot 1,597 + 4 \cdot 1,597} = 2,35 \text{ м}$$

$$x_{\Gamma} = \frac{h_{\Gamma}}{H_T} = \frac{2,35}{16} = 0,147 \quad (36)$$

$r_V$  – параметр забалластированности топочных газов:

$$r_V = \frac{V_{\Gamma}(1+r)}{V_{N_2}^0 + V_{RO_2}^0} = \frac{5,15}{3,147 + 0,724} = 1,33 \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (37)$$

Значение параметра  $M$

$$M = 0,45 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,147) \cdot \sqrt[3]{1,33} = 0,476$$

3.6.2.3 Адиабатическая температура горения

Адиабатическая температура горения  $\vartheta_a$ , °С определяется по полезному тепловыделению в топке  $Q_T$  при избытке воздуха  $a_T$  по таблице 5.

Полезное тепловыделение в топке [1]

$$Q_T = Q_P \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{\phi} + Q_B + \sum r I_{\Gamma.отб.}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \quad (38)$$

где  $Q_P$  – располагаемое тепло топлива,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;  $q_3, q_4, q_6$  – потери тепла от химической и механической неполноты сгорания топлива, с теплом шлака и

охлаждающей воды, %;  $Q_{\phi}$  – тепло, вносимое в топку паровым дутьем,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  (отсутствует);  $Q_{\text{в}}$  – тепло вносимое в топку воздухом,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;  $\sum rI_{\text{г.отб.}}$  – тепло рециркулирующих газов(отсутствует),  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ,

Тепло, вносимое в топку воздухом:

$$Q_{\text{в}} = \beta'_T \cdot I''_{\text{о.в.}} + (\Delta\alpha_{\text{т}} + \Delta\alpha_{\text{пл}})I_{\text{о.прс}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (39)$$

где  $\beta'_T$  – количество воздуха, подаваемое в топку из водоподогревателя, отнесенное к теоретически необходимому для сгорания топлива [1];

$$\beta'_T = \alpha''_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{пл}} - (\alpha_{\text{отб}} - 1) \cdot r_{\text{т}} \quad (40)$$

$$\beta'_T = 1,2 - 0,02 - 0,1 = 1,08$$

$I''_{\text{о.в.}} = 1921,75 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при температуре за воздухоподогревателем при  $t_{\text{гв}} = 359^{\circ}\text{C}$ ;

$I_{\text{о.прс}} = 159,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при температуре присасываемого воздуха  $t_{\text{хв}} = 30^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_{\text{в}} = 1,08 \cdot 1921,75 + 0,12 \cdot 159,84 = 2094,67 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Полезное тепловыделение в топке:

$$Q_{\text{т}} = 15280 \cdot \frac{100-0-2,5-0,08}{100-2,5} + 2094,67 = 17362,54 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

При полезном тепловыделении  $Q_{\text{т}} = 17362,54 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ , адиабатическая температура горения  $\vartheta_{\text{а}} = 1917,9^{\circ}\text{C}$  и  $T_{\text{а}} = 2191,1\text{K}$ .

Примем температуру дымовых газов на выходе из топки  $\vartheta''_{\text{т}} = 1145^{\circ}\text{C}$  ( $T''_{\text{т}} = 1418,15\text{K}$ ), тогда при избытке воздуха на выходе из топки  $\alpha''_{\text{т}} = 1,2$  по таблице 5 энтальпия дымовых газов  $I''_{\text{т}} = 9724,22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

Средняя суммарная теплоёмкость продуктов сгорания 1 кг топлива:

$$(Vc)_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{т}} - I''_{\text{т}}}{\vartheta_{\text{а}} - \vartheta''_{\text{т}}}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{K}} \quad (41)$$

$$(Vc)_{\text{ср}} = \frac{17362,54 - 9724,22}{1917,9 - 1145} = 9,883 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

3.6.2.4 Основной радиационной характеристикой продуктов сгорания служит критерий поглощательной способности (критерий Бугера) [1]:

$$Bu = k \cdot p \cdot s \quad (42)$$

где  $k$  – коэффициент поглощения топочной среды,  $1/(\text{м} \cdot \text{МПа})$ ;  $p$  – давление в топочной камере ( $p = 0,1 \text{ МПа}$ );  $s$  – эффективная толщина излучающего слоя в формуле 31.

Коэффициент поглощения топочной среды  $k$  при сжигании твердых топлив:

$$k = k_{\Gamma} + k_{\text{зл}}\mu_{\text{зл}} + k_{\text{кокс}}\mu_{\text{кокс}}, \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}} \quad (43)$$

где  $k_{\Gamma}$  – коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания ( $\text{RO}_2, \text{H}_2\text{O}$ ):

$$k_{\Gamma} = \left( \frac{7,8+16 \cdot r_{\text{H}_2\text{O}}}{\sqrt{10 \cdot p \cdot r_{\text{H}_2\text{O}} \cdot s}} - 1 \right) \cdot (1 - 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\Gamma}'') \cdot r_{\Gamma}, \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}} \quad (44)$$

$$k_{\Gamma} = \left( \frac{7,8+16 \cdot 0,0939}{\sqrt{10 \cdot 0,1 \cdot 0,2345 \cdot 6,425}} - 1 \right) \cdot (1 - 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot 1418) \cdot 0,2345 = 0,733 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

$k_{\text{зл}}\mu_{\text{зл}}$  – коэффициент поглощения лучей частицами золы:

$$k_{\text{зл}}\mu_{\text{зл}} = \frac{10^4 \cdot A_{\text{зл}}}{\sqrt[3]{(T_{\Gamma}'')^2}} \frac{\mu_{\text{зл}}}{1+1,2\mu_{\text{зл}}s}, \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}} \quad (45)$$

где  $\mu_{\text{зл}}$  – концентрация золы в продуктах сгорания по таблице 4; коэффициент  $A_{\text{зл}} = 0,8$  для топок с твердым шлакоудалением при сжигании каменных углей.

$$k_{\text{зл}}\mu_{\text{зл}} = \frac{10^4 \cdot 0,8}{\sqrt[3]{(1418)^2}} \frac{0,0589}{1+1,2 \cdot 0,0589 \cdot 6,425} = 2,568 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

$k_{\text{кокс}}\mu_{\text{кокс}} = 0,2$  – коэффициент поглощения лучей частицами кокса, для каменных углей.

Коэффициент поглощения топочной среды:

$$k = 0,733 + 2,568 + 0,2 = 3,502 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

Критерий Бугера:

$$Bu = 3,502 \cdot 0,1 \cdot 6,425 = 2,250$$

Эффективное значение критерия Бугера

$$\widetilde{Bu} = 1,6 \cdot \ln \left( \frac{1,4 \cdot Bu^2 + Bu + 2}{1,4 \cdot Bu^2 - Bu + 2} \right) \quad (46)$$

$$\widetilde{Bu} = 1,6 \cdot \ln \left( \frac{1,4 \cdot 2,25^2 + 2,25 + 2}{1,4 \cdot 2,25^2 - 2,25 + 2} \right) = 0,8092$$

3.6.2.5 Расчётная температура газов в конце топки [1]:

$$\vartheta_T'' = \frac{T_a}{1 + M \cdot \widetilde{Bu}^{0,3} \cdot \left[ \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \psi_{cp} \cdot F_{CT} \cdot T_a^3}{\varphi \cdot B_p \cdot (Vc)_{cp}} \right]^{0,6}} - 273, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (47)$$

$$\vartheta_T'' = \frac{2191,15}{1 + 0,476 \cdot 0,8092^{0,3} \cdot \left[ \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,415 \cdot 679,4 \cdot 2191,1^3}{0,995 \cdot 12,459 \cdot 9,883} \right]^{0,6}} - 273,15 = 1149,1^\circ\text{C}$$

Расчитанная температура дымовых газов на выходе из топки котла  $\vartheta_T'' = 1149,1^\circ\text{C}$ , отличается от принятой предварительно  $\vartheta_T'' = 1145^\circ\text{C}$ , менее, чем на  $100^\circ\text{C}$ . Для проведения дальнейших расчётов принимаем температуру  $\vartheta_T'' = 1149,1^\circ\text{C}$ .

Энтальпия дымовых газов на выходе из топки по таблице 5 при принятой температуре  $I_T'' = 9762,99$  кДж/кг.

Количество тепла, воспринятое в топке излучением:

$$Q_l = \varphi \cdot (Q_T - I_T''), \text{ кДж/кг} \quad (48)$$

$$Q_l = 0,995 \cdot (17362,54 - 9762,99) = 7558,12 \text{ кДж/кг}$$

Среднее тепловосприятие поверхностей топочной камеры:

$$q_l = \frac{B_p \cdot Q_l}{F_{CT}} = \frac{12,459 \cdot 7558,12}{679,4} = 138,6 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \quad (49)$$

## 4 Аэродинамический расчет системы ПВКд

### 4.1 Исходные данные

Основное требование к пылепроводам: обеспечение расчетной подачи пыли за счет приемлемого сопротивления. Сопротивление пылепровода зависит от его длины, проходного сечения, концентрации пыли в пылепроводе, перепада высоты (нивелирный напор) и местных сопротивлений. Проходное сечение пылепроводов (диаметр пылепровода и толщина стенки) выбираются на основании расчета сопротивления пылепроводов при расчетной максимально необходимой подаче пыли и при скорости аэросмеси на уровне 12 м/с, а толщина стенки пылепроводов принимается из условий длительной работы пылепроводов без сквозного абразивного износа [13].

Трассировка пылепроводов ПВКд приведена на рисунке 4.

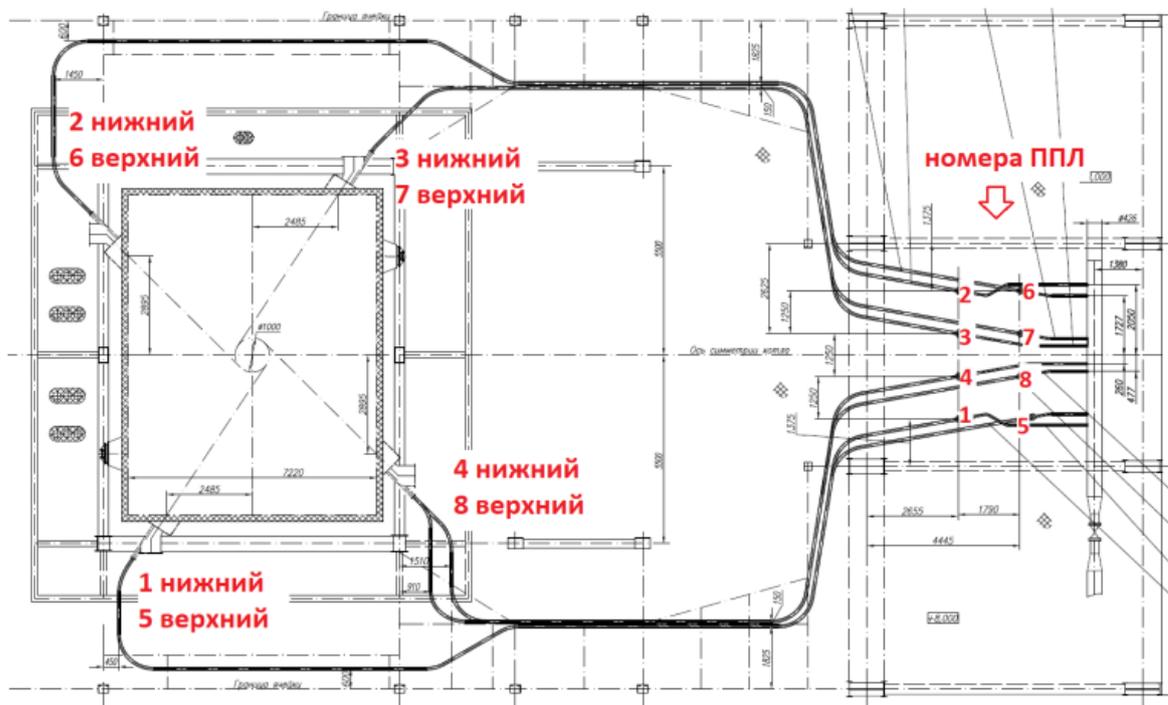


Рисунок 4 – Трассировка пылепроводов ПВКд

Пылесистема расположена в задней части котла. Участки труб довольно длинные от 25,5 до 37,3 м. Для длинных участков №1, 2, 5 и 6 пылепроводов приняты трубы 89х9 мм, для коротких – №3, 4, 7 и 8 трубы 76х7

мм. Количество пылепроводов 8 шт. Конструктивные характеристики пылепроводов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Конструктивные характеристики пылепроводов

Наименование параметра	Пылепровод к горелке							
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
Внутренний диаметр, мм	71	71	71	71	71	71	71	71
Длина пылепровода, м	35,5	37,3	26,7	25,5	35,5	37,3	26,7	25,5
Отметка начала пылепровода, м	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Отметка конца пылепровода, м	9,3	9,3	9,3	9,3	11,4	11,4	11,4	11,4
Количество поворотов 45° и 90°	7	7	4	5	7	7	4	5

Исходные данные для расчета пылепроводов при номинальной нагрузке котла:

Температура смеси, $t_{см}$ , °С .....	50
Удельный вес пыли, $\gamma_{пл}$ , кг/м <sup>3</sup> .....	750
Расход пыли по одной нитке, $B_{р1}$ , кг/ч.....	5750
Расход транспортирующего воздуха на одну нитку, $Q_{в1}$ , м <sup>3</sup> /ч .....	135

#### 4.2 Аэродинамический расчет пылепровода ПВКд

Выполним расчет для самого длинного пылепровода к горелке №6:

Концентрация аэросмеси в пылепроводе при номинальной нагрузке [2]:

$$\mu = \frac{B_{р1}}{Q_{в1}\rho_{в}} \cdot \frac{t_{см}+273}{273} = \frac{5750}{135 \cdot 1,29} \cdot \frac{50+273}{273} = 39,1 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad (50)$$

Действительная скорость аэросмеси в пылепроводе:

$$\omega = \frac{4G}{3,6\pi\mu\rho_{в}d^2} \cdot \frac{t_{см}+273}{273} = \frac{4 \cdot 5,75 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 39,1 \cdot 1,29 \cdot 0,071^2} \cdot \frac{50+273}{273} = 9,48 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (51)$$

Удельный вес аэросмеси:

$$\gamma_{см} = \mu\rho_{в} \frac{273}{t_{см}+273} = 39,1 \cdot 1,29 \cdot \frac{273}{50+273} = 42,59 \text{ кг/м}^3 \quad (52)$$

Динамический напор:

$$h_{д} = \frac{\omega^2\gamma_{см}}{2} = \frac{9,5^2 \cdot 42,59}{2} = 1912 \text{ Па} \quad (53)$$

Сопротивление трения на участке пылепровода от смесителя к горелкам:

$$\Delta H_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_3} h_d = 0,025 \cdot \frac{37,3}{0,071} \cdot 1912 = 25116 \text{ Па} \quad (54)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения, для гладкотрубных пылепроводов диаметром менее  $d < 200$  мм по [7] принимаем  $\lambda = 0,025$ .

Местные сопротивления, на участке  $n = 7$  плавных поворотов  $45^\circ$  и  $90^\circ$  пылепровода, коэффициент сопротивления  $\xi = 0,15$ :

$$\Delta H_{\text{мс}} = \xi h_d n = 0,15 \cdot 1922 \cdot 7 = 2008 \text{ Па} \quad (55)$$

Сопротивление смесителя, с коэффициентом сопротивления  $\xi = 0,35$ :

$$\Delta H_{\text{см}} = \xi h_d n = 0,35 \cdot 1922 = 669 \text{ Па} \quad (56)$$

Потеря давления на разгон материала после смесителя:

$$\Delta H_{\text{рм}} = \gamma_{\text{см}} \omega^2 = 42,59 \cdot 9,5^2 = 3825 \text{ Па} \quad (57)$$

Нивелирный напор пылепровода:

$$\Delta H_{\text{ур}} = \gamma_{\text{см}} (H_1 - H_2) g = 42,59 \cdot (11,4 - 8,75) \cdot 9,81 = 230 \text{ Па} \quad (58)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – отметки конца на уровне горелок и начала на уровне смесителя пылепроводов по таблице 6.

Разрежение в топке котла на уровне горелок:

$$h'_t = h''_t + 0,95H' = 20 + 0,95 \cdot 10,6 \cdot 9,81 = 1008 \text{ Па} \quad (59)$$

где  $h''_t = 20$  Па – разрежение в топке котла;

$H' = 10,6$  м – разность высот от верха топки до уровня горелок.

Общее сопротивление участка пылепровода смеситель-топка котла:

$$\Delta H_{\text{пп}} = -h'_t + \Delta H_{\text{тр}} + \Delta H_{\text{мс}} + \Delta H_{\text{см}} + \Delta H_{\text{рм}} + \Delta H_{\text{ур}}, \text{ Па} \quad (60)$$

$$\Delta H_{\text{пп}} = -1008 + 25118 + 2008 + 669 + 3825 + 230 = 32726 \text{ Па}$$

Необходимая высота столба пыли в вертикальной трубке под пылепитателем:

$$H_{\text{ст}} = \frac{\Delta H_{\text{пп}}}{\gamma_{\text{пл}}} = \frac{32726}{750} = 4,4 \text{ м} \quad (61)$$

Результаты расчета пылепроводов ПВКд от смесителя до топки котла приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчета пылепроводов ПВКд

Наименование параметра	Пылепровод к горелке							
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
Концентрация аэросмеси в пылепроводе, $\mu$ , кг/кг	39,1	39,1	39,1	39,1	39,1	39,1	39,1	39,1
Скорость аэросмеси в пылепроводе, $\omega$ , м/с	9,48	9,48	12,43	12,43	9,48	9,48	12,43	12,43
Динамический напор, $h_d$ , Па	1912	1912	1912	1912	1912	1912	1912	1912
Сопротивление трения, $\Delta H_{тр}$ , Па	23904	25116	20589	19663	23904	25116	20589	19663
Местные сопротивления, $\Delta H_{мс}$ , Па	2008	2008	1147	1147	2008	2008	1147	1147
Сопротивление смесителя, $H_{см}$ , Па	669	669	669	669	669	669	669	669
Потеря давления на разгон материала, $\Delta H_{рм}$ , Па	3825	3825	6578	6578	3825	3825	6578	6578
Нивелирный напор, $\Delta H_{ур}$ , Па	230	230	230	230	1107	1107	1107	1107
Разрежение в топке котла на уровне горелок, $h'_т$ , Па	1008	1008	1008	1008	1008	1008	1008	1008
Общее сопротивление участка пылепровода, $\Delta H_{пп}$ , Па	30636	30841	29213	28575	31514	32726	30091	29452
Необходимая высота столба пыли, $H_{ст}$ , м	4,2	4,2	4,0	3,9	4,3	4,4	4,1	4,0

## **5 Модернизация системы пылеприготовления**

### **5.1 Экологические показатели для проведения модернизации**

#### **5.1.1 Факторы, влияющие на природную среду и климат**

На угольных тепловых электростанциях производство электрической и тепловой энергии приводит к негативному воздействию на окружающую среду. В атмосферу выбрасываются вредные газообразные продукты сгорания и твердые частицы, а также сброс загрязненных стоков на золоотвалы. Выбросы в атмосферу являются одной из главных экологических проблем.

Основную часть вредных выбросов в атмосферу вследствие сжигания ископаемых видов топлива, которые разливаются по тому, как производят воздействие [14]:

- ухудшают качество воздуха, такие как, оксид углерода  $\text{CO}$ , оксиды азота и серы, летучие углеводороды, пыль, сажа и другое;
- изменяют радиационно-тепловой баланс атмосферы, такие как парниковые газы, к ним относятся  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ; к образованию озона и сульфатного аэрозоля в нижних слоях атмосферы приводят  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_x$ .

Продукты сгорания топлив по степени опасности (токсичности) делятся на пять классов [15]:

1. чрезвычайно опасные: бенз(а)пирен, пентоксид ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ );
2. опасные:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , летучая зола при содержании  $\text{CaO} \geq 35\%$ ;
3. умеренно опасные:  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , летучая зола при содержании  $\text{CaO} < 35\%$ ;
4. малоопасные:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ;
5. безопасные:  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ .

#### **5.1.2 Влияние вредных выбросов оксидов азота**

Рассмотрим влияние выбросов оксидов азота. Экологическая опасность  $\text{NO}_2$  в несколько раз превосходит  $\text{NO}$ . Диоксид азота влияет на здоровье людей. Очень опасным может оказаться даже временное вдыхание

воздуха с концентрацией 200-300 мг/м<sup>3</sup> [16]. Также при реакциях с углеродом образуется смог, а водяные пары и оксиды азота образуют «кислотные дожди».

Для того, чтобы понимать каким образом снижать образование оксидов азота NO<sub>x</sub> необходимо иметь понимание, как происходит их образование. Как указано в [16] очень «хорошо изучены три основных механизма их образования оксидов азота:

- образование «термических» (воздушных) из молекулярного азота воздуха при температуре выше 1800 К (механизм Зельдовича);
- образование «топливных» из связанного азота, содержащегося в топливе;
- образование небольшого количества «быстрых» путем реакции молекулярного азота воздуха с углеводородными радикалами (механизм Фенимора)».

Наличие в дымовых газах оксидов азота зависит от целого ряда факторов, наиболее значимым из которых является температура сжигания топлива. Зависимость образования оксидов азота от температуры представлена на рисунке 5 [17].

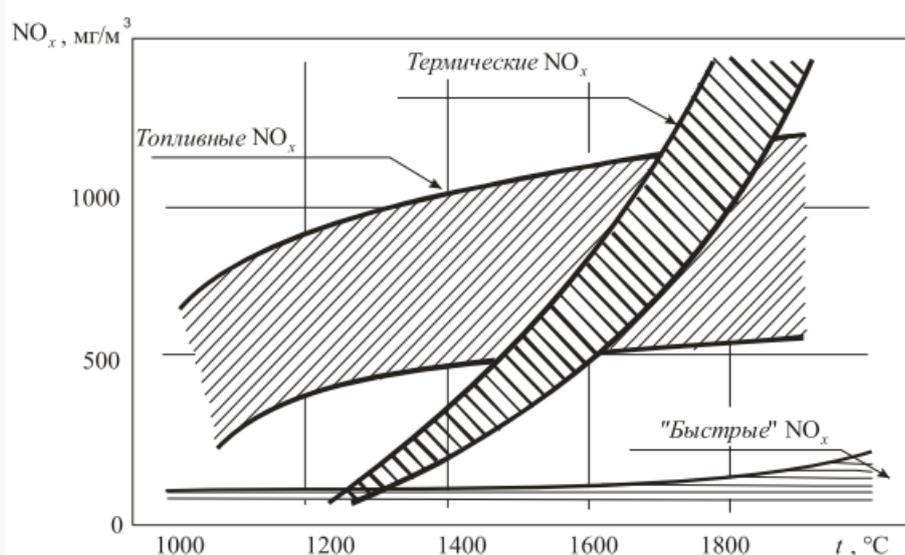


Рисунок 5 – Зависимость образования оксидов азота от температуры при сжигании органического топлива

### 5.1.3 Мероприятия по снижению выбросов оксидов азота

Для снижения выбросов оксидов азота проводятся режимно-технологические или первичные мероприятия.

Мероприятия применяемые, как в существующих котельных установках, так и во вновь вводимых и которые успешно эксплуатируются на электростанциях [16, 18]:

- сжигание топлива с малыми коэффициентами избытка воздуха (снижение NO<sub>x</sub> до 33%);
- рециркуляцию дымовых газов (снижение NO<sub>x</sub> 25-35%);
- нестехиометрическое сжигание топлива (снижение NO<sub>x</sub> 35–40%);
- двухступенчатое сжигание топлива (снижение NO<sub>x</sub> 20–45 %);
- трехступенчатое сжигание топлива (снижение NO<sub>x</sub> 30–60 %);
- использование горелок с низким выбросом NO<sub>x</sub> (снижение NO<sub>x</sub> до 60 %);
- впрыск воды в ядро факела (снижение NO<sub>x</sub> на 25–44 %);
- снижение температуры горячего воздуха;
- выключение из работы одной или нескольких горелок;
- предварительный подогрев угольной пыли;
- подача высококонцентрированной пыли (ПВК) в топку котлов;
- комбинацию первичных мероприятий (снижение NO<sub>x</sub> до 90 %).

Каждое из представленных мероприятий имеет собственные возможные перекрестные эффекты и ограничения применения (увеличение содержания СО, стабильность факела, механическая полнота сгорания топлива и др.) [18].

Какие-то мероприятия могут быть выполнены путем изменения режима эксплуатации котла (низкий избыток воздуха, нестехиометрическое сжигание), большинство требует для своей реализации конструктивной модернизации системы пылеприготовления, топки, горелочных устройств.

На котлоагрегате Е-250-9,8-545 КТ применены ряд технологических решения для снижения выбросов оксида азота.

Для организации ступенчатого сжигания топлива применена система нижнего и верхнего дутья. Сопла нижнего дутья устанавливаются на скатах холодной воронки, через них подается 15%-20% воздуха, необходимого для горения.

Сопла верхнего дутья располагаются тангенциально над основными горелками, через них подается 10% воздуха.

Сбросные горелки осуществляют сброс сушильного агента в зону активного горения, через сбросные горелки подается 25% воздуха.

Перераспределение вторичного воздуха между пылевыми горелками, сбросными соплами, а также верхним и нижним дутьем позволяет уменьшить выбросы  $\text{NO}_x$ , регулировать скоростной режим горелок, способствует снижению температуры газов на выходе из топки за счет снижения уровня горения факела.

Применение системы подачи пыли высокой концентрации (под давлением) также приводит к значительному снижению  $\text{NO}_x$ .

Особенность систем ПВКд, как указано [19] «в том, что пыль к горелкам подается не первичным воздухом, а воздуходувками при высокой концентрации пыли в смеси (30-50 кг топлива/кг воздуха, в отличии от традиционных схем с концентрацией 0,3-0,6 кг/кг). В этом случае диаметр пылепроводов в зависимости от мощности горелок составляет всего 40-80 мм (вместо 300-500 мм в существующих системах), а расход транспортируемого воздуха около 0,1—0,3% общего расхода воздуха на горение».

Применение системы ПВКд позволяет:

- упростить компоновку котлоагрегата;
- удешевить компоновку котлоагрегата за счет экономии металла, а также снизить затраты на ремонт и замену пылепроводов;
- уменьшить расходы электроэнергии на собственные нужды;
- снизить выбросы  $\text{NO}_x$  в среднем на 30%.

### 5.1.4 Расчет выбросов в атмосферу окислов азота

В случае отсутствия экспериментальных данных по содержанию удельных выбросов  $n_{NO_2}$ , расчет производим с учетом описанных выше примененных мероприятий по сжиганию твердого топлива на котлоагрегате Е-250-9,8-545 КТ по формуле [15]:

$$M_{NO_2} = 0,034KBQ_H^p\beta_1\beta_2\beta_3\left(1 - \frac{q_4}{100}\right)(1 - \varepsilon_1r)\varepsilon_2\beta_4, \text{ г/с} \quad (62)$$

где  $K$  – коэффициент, характеризует количество оксидов азота на 1 т условного топлива. Для котлов, сжигающих твердое топливо при нагрузках выше 75% номинальной (фактическая нагрузка равна номинальной  $D_\phi = D_H = 250\text{т/ч}$ ), определяем по формуле:

$$K = \frac{12D_H}{200+D_H} = \frac{12 \cdot 250}{200+250} = 6,667 \quad (63)$$

$B$  – суммарный расход топлива, подаваемый в топку, по формуле (29);

$Q_H^p$  – низшая теплота сгорания топлива, из таблицы 2;

$\beta_1$  – коэффициент, который учитывает качество сжигаемого топлива, на выход  $NO_2$  для твердого топлива:

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47N^p = 0,178 + 0,47 \cdot 0,65 = 0,484 \quad (64)$$

$\beta_2$  – коэффициент, который учитывает конструкцию горелок, для принятых на котле прямоточных горелок  $\beta_2 = 0,85$ ;

$\beta_3$  – коэффициент, который учитывает вид шлакоудаления, при твердом шлакоудалении  $\beta_3 = 1$ ;

$\beta_4$  – коэффициент, который учитывает подачу пыли в горелки высокой концентрации по [26], принимаем  $\beta_4 = 0,8$ ;

$\varepsilon_1$  – коэффициент эффективности воздействия рециркуляции газов в зависимости от условий подачи в топку, не учитывается;

$\varepsilon_2$  – коэффициент, характеризующий снижение выброса  $NO_2$  при двухступенчатом сжигании. При доле воздуха, подаваемого на сопла верхнего дутья 10%, принимаем  $\varepsilon_2 = 0,74$ .

Суммарные выбросы оксидов азота:

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 6,667 \cdot 12,778 \cdot 15,28 \cdot 0,484 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{2,5}{100}\right) \times \\ \times 0,74 \cdot 0,8 = 10,5 \text{ г/с} = 0,038 \text{ т/ч}$$

### 5.1.5 Результаты внедрения технологий по снижению выбросов

На основе методологии определения технологических показателей выбросов в атмосферу при сжигании твердого топлива проведено обследование энергокомпаний Российской Федерации с целью определения значимости различных параметров со значениями показателей выбросов [18].

Полученные данные классифицированы по группам с близкими значениями технологических показателей выбросов. Для котельных установок, сжигающих твердое топливо основными выбросами, являются оксиды азота NO<sub>x</sub>, двуокись серы SO<sub>2</sub> и зола.

Обработка анкетных данных по выбросам NO<sub>x</sub> показала следующее:

- количество пылеугольных котлов, на которых выполнены требования по снижению эмиссии NO<sub>x</sub> за счет реконструкции топочной камеры составляет примерно 20-25%;
- все новые котлы, выпущенные отечественными предприятиями после 2001 г., имеют конструктивные особенности, рассчитанные на снижение выбросов NO<sub>x</sub>;
- общее количество пылеугольных котлов, на которых внедрены технологии подавления NO<sub>x</sub> (с учетом и режимных и конструктивных мероприятий) составляет свыше 250 котлов.

Для достижения норм выбросов NO<sub>x</sub> при сжигании твердого топлива в топках котлов, чаще всего применяют комбинации первичных мероприятий. В [15] приведены результаты внедрения технологических методов по подавлению оксидов азота в дымовых газах на пылеугольных котлах России.

## 5.2 Анализ существующих системы пылеприготовления с ПВКд

Внедрение систем подачи пыли высокой концентрации под давлением очень сильно влияет на следующие характеристики котельных установок, эксплуатируемых на тепловых электростанциях: экономичность, надежность, и маневренность. Как указано в [18] «позволяет снизить металлоемкость, повысить ремонтпригодность, уменьшить капитальные, эксплуатационные и ремонтные затраты, расходы электроэнергии на собственные нужды».

Повышение надежности систем пылеприготовления с промежуточным бункером может быть достигнуто за счет подачи пыли высокой концентрации к горелкам котла. При этом значительно снижается металлоемкость всей системы и практически ликвидируется пыление. Данный способ пылепитания предложен в ВТИ и введен в эксплуатацию в 1972 г. [7].

Система пылеприготовления с подачей ПВК под давлением впервые была опробована на котлах ТП-12 [21]. Опыт эксплуатации системы выявил ряд преимуществ:

- простота и дешевизна компоновки системы пылепитания котла;
- уменьшенная протяженность воздухопроводов;
- сниженный расхода электроэнергии на собственные нужды.

Однако системы ПВКд имеют ряд существенных недостатков [6]:

- снижение устойчивости горения и сепарация пыли, вызванные необработанностью узла смешения пыли с воздухом, недостаточным прогревом пыли при подаче ее непосредственно в горелку;
- опасность прорыва воздуха через пылепитатель в бункер пыли, повышает взрывоопасность установки при использовании высокорекреционных топлив, препятствует полной сработке бункера, ограничивает производительность пылепитателя.

Устранение этих недостатков обеспечивает установка перед смесителем вертикального стабилизирующего участка высотой 3,5-4 м, а

также выполнения смесителя в виде эжектора. Данная схема применена на котлах Томь-Усинской ГРЭС [22] показана на рисунке 6.

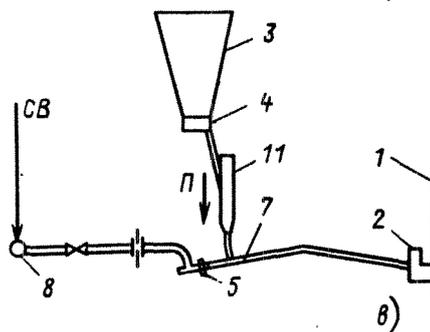


Рисунок 6 – Схема ПВД в варианте Томь-Усинской ГРЭС

1 – топка; 2 – горелка; 3 – бункер пыли; 4 – питатель пыли; 5 – смеситель;  
7 – пылепровод; 8 – коллектор сжатого воздуха; 11 - стабилизатор

Опыт эксплуатации и исследование системы пылеподачи с высокой подачей пыли при сжигании АШ описан в [20].

Исследование проводилось «на котле ТПП-210А Тираспольской ГРЭС. Были проведены специальные исследования, которые позволили выявить схемные особенности системы ПВД при сжигании низкорекреационного топлива, дополнительные преимущества управления пылеподачей и процесса горения, улучшить экологические характеристики котла».

Исследованы различные типы аэрационных пылепитателей, подача транспортирующего воздуха от воздуходувок, смесителей, горелочных устройств, применение автоматизированной системы пылеподачи с контролем расхода пыли.

Применение ПВД на энергоблоке в диапазоне нагрузок 220-300 МВт приводит к увеличению КПД котла на 0,4-1%. Выбросы оксидов азота уменьшились на 20-21,4%.

В статье [23] приведен «опыт модернизации устаревшего котельного оборудования с целью повышения мощности и улучшения технико-экономических и экологических характеристик. Разработана концепция реконструкции пылеугольных котлов, которая получила внедрение на котле БКЗ-320-140 ТЭЦ АО «Алюминий Казахстана» г.Павлодар». Кроме того, что

на котле была увеличена производительность по пару с 320 до 400 т/ч, также проводились ряд работ, связанных с модернизацией топочно-горелочных устройства котла:

- выполнен монтаж систем нижнего дутья котла;
- была внедрена система подачи пыли высокой концентрации под давлением;
- существующие вихревые горелки заменили на прямоточные;
- дополнительно смонтированы сопла сброса сушильного агента.

Вместе с повышением производительности котла на 10% уменьшились выбросы оксидов азота на 25-30%, в результате выполнения комплекса технологических мероприятий по снижению выбросов.

В работе [24] «рассматривается возможность увеличения производительности системы ПВКд и исключения возможных пульсаций в системе из-за длинных пылепроводов ПВКд путем выполнения трассировки труб системы ПВКд по «U» образной схеме с наличием удлиненного вертикального стояка, укороченного горизонтального и подъемного участков. Сопротивление пылепровода от смесителя до горелок задней стенки котла не увеличено, а давление в смесителе выше за счет увеличения вертикального стояка».

В работе [25] рассматривается конструкция горелки для использования в системах ПВКд. Данное изобретение позволяет сократить затраты топлива при пусках, повысить устойчивость горения и экономичность сжигания топлива при низком уровне образования оксидов азота.

### **5.3 Техническое решение системы пылеприготовления с ПВКд**

Для подачи пыли в горелки применена система ПВКд, которая включает следующее оборудование:

- три турбовоздуходувки типа ТВ-80-1,4;
- общий коллектор ПВКд;
- противопомпажный регулирующийся клапан, установленный в общем коллекторе ПВКд;
- отсекающую задвижку, установленную в воздуховоде от общего коллектора ПВКд к коллектору ПВКд котла;
- воздушный коллектор ПВКд котла;
- воздухопроводы к смесителям пыли  $\varnothing 57 \times 3,5$  с запорными ручными клапанами (8 шт.);
- смесители пыли (8 шт.);
- пылепроводы к горелкам  $\varnothing 76 \times 7$  в количестве 8 шт.;
- течи-стабилизаторы пыли от ППЛ к смесителям пыли (8 шт.);
- пылепитатели ППЛ-5 (8 шт.)

Обследование элементов системы ПВКд проводилось с целью выявления возможных причин ограничения производительности пылепроводов ПВКд и разработки технических решений по достижению номинальной производительности котла [13].

Аэродинамический расчет пылепроводов выполнен в разделе 4.

#### **Анализ конструкции пылепитателя**

Фактически производительность пылепитателей зависит от различных факторов, в том числе от влажности пыли, зольности, фракционного состава, высоты столба пыли в бункере пыли (плотности пыли и давления столба пыли), а для условий работы с ПВКд от противодействия под питателем.

В таблице 8 показан расчет пропускной способности ППЛ в зависимости от скорости вращения электродвигателя при идеальных условиях работы ППЛ и при плотности пыли  $750 \text{ кг/м}^3$  и  $1100 \text{ кг/м}^3$ , а также расход

пыли при изменении конструкции течки и сопла из экспериментальных данных (изменение расхода пара и уровень в бункере пыли 5-6 м). В реальных условиях при повышении частоты вращения ППЛ качество схода пыли ухудшается из-за действия центробежных сил, а также снижения времени прохождения ячейки подающего колеса над выходным окном.

Таблица 8 – Пропускная способность пылепитателя

Скорость вращения эл.двигателя, об/мин	Скорость вращения колеса, об/мин	Пропускная способность ППЛ, м <sup>3</sup> /ч	Пропускная способность ППЛ (750 кг/м <sup>3</sup> ), т/ч	Пропускная способность ППЛ (1100 кг/м <sup>3</sup> ), т/ч	Реальный расход пыли ППЛ т/ч
1400	70	8,61	6,46	9,47	7,73
1300	65	7,99	6,00	8,79	7,39
1200	60	7,38	5,53	8,12	7,05
1100	55	6,79	5,07	7,44	6,72
1000	50	6,15	4,61	6,76	6,38
900	45	5,53	4,15	6,09	6,05
800	40	4,92	3,69	5,41	5,54
700	35	4,30	3,23	4,73	5,04
600	30	3,69	2,77	4,06	4,54
500	25	3,07	2,31	3,38	3,86

Пылепитатели ППЛ-5С в условиях работы с частотно-регулируемым приводом обеспечивают работу котла в диапазоне нагрузок  $60 \div 100\% D_n$ .

#### **Анализ конструкции существующей течки**

Один из основных элементов ПВКд, назначение которого не допустить фильтрацию транспортирующего воздуха через пылепитатель в бункер является стабилизатор или течка пыли. От качества работы стабилизатора зависит производительность пылепитателя.

На рисунке 7 приведены варианты конструкции течки системы ПВКд.

В первом варианте в верхнюю часть течки подается воздух на аэрацию, давление по пылепитателем повышается и приводит к ограничению его производительности, за счет уменьшения плотности пыли в течке. Течка имеет

переменное сечение, верхняя часть течки изготовлена из трубы 168х4 мм длиной 1005 мм, далее конус длиной 600 мм с переходом на трубу 76х7 мм длиной 2660 мм. При отключении аэрации возможно забивание течки в месте сужения.

Во втором варианте воздух не подается в верхнюю часть течки. Течка изготовлена из трубы диаметром 76х3 мм длиной 4100 мм с переходом на трубу 168х4 мм длиной 200 мм.

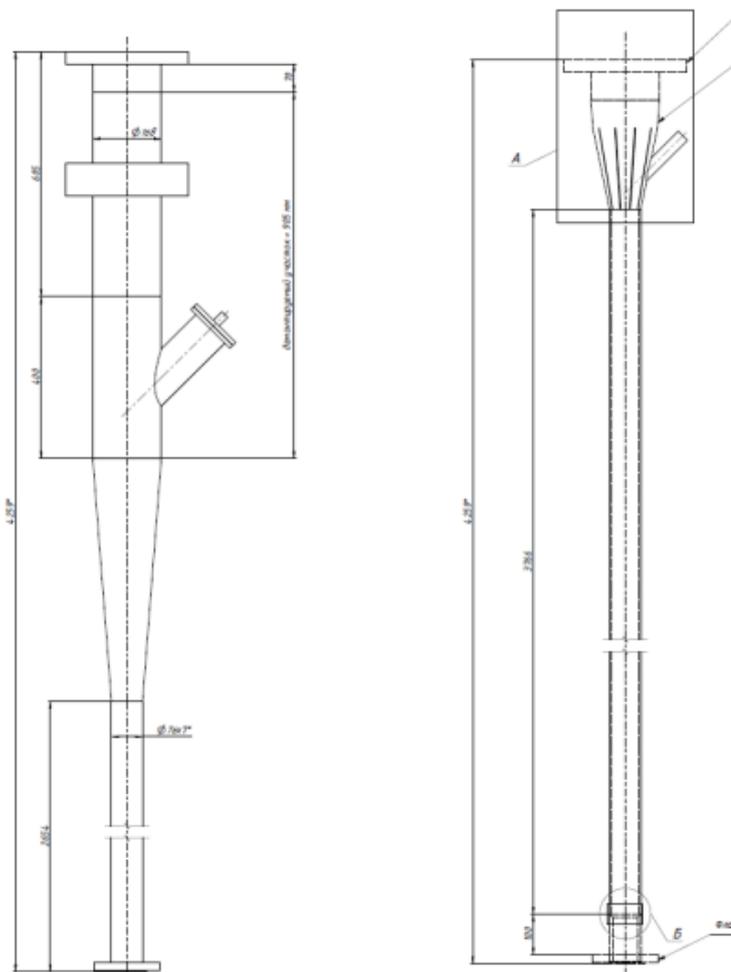


Рисунок 7 – Варианты конструкции течки ПВКд

За счёт отсутствия подвода воздуха на аэрацию в течку новой конструкции, а также за счёт работы пылевого столба, как поршня при уменьшении сечения и увеличении скорости схода пыли в течке 76х3 мм давление под пылепитателем снизилось с 20-26 кПа до 5 – 6,5 кПа. Производительность пылепитателя увеличилась в 1,5-2 раза. Давление в пылепроводе стабилизировалось, пропали пульсации.

## Анализ конструкции смесителя пыли

От конструкции смесителя пыли в значительной степени зависит эффективность работы схемы ПВКд. Главные требования к смесителю – минимальное сопротивление и эффективность эвакуации пыли.

Конструкция смесителя приведена на рисунке 8. Основные конструктивные особенности смесителя:

1. Угол присоединения патрубка течки пыли к смесителю составляет 55° навстречу воздушной струе сопла;

2. Сопло с выходным диаметром 16 мм. Скорость воздуха на выходе из сопла составляет 140-230 м/с. Изменение конструкции сопла, при котором заданное пропускное сечение выполняется не одним отверстием с диаметром 16 мм, а 11 отверстиями диаметром 5 мм на плоской грани сопла уменьшает давление холостого хода и снижает расход транспортного воздуха. В то же время, увеличивается нагрузка котла и снижаются пульсации в пылепроводе.

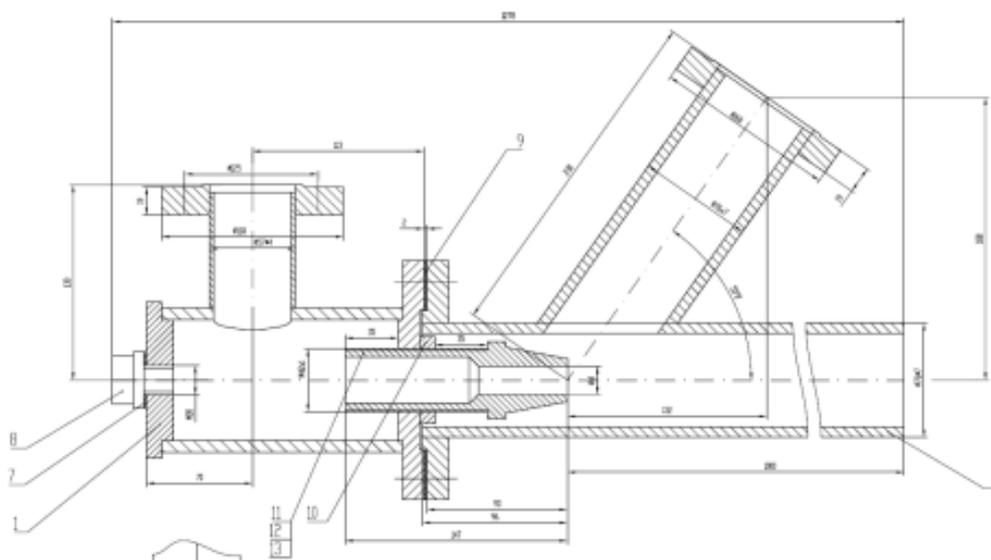


Рисунок 8 – Конструкция смесителя ПВКд

## Анализ трассы и конструкции пылепроводов

Расположение пылесистемы за котлом увеличивает протяженность всех пылепроводов, относительно компоновки с пылесистемой перед котлом. Трассировка пылепроводов ПВКд приведена на рисунке 4. Пылепроводы к

горелкам №1,2,5,6 длинные длиной до 37,3 м, к горелкам №3,4,7,8 короткие длиной до 26,7 м.

Основное требование к пылепроводам: обеспечение расчетной подачи пыли за счет приемлемого сопротивления. Расчет сопротивления пылепроводов выполнен в разделе 4. Для длинных участков к горелкам №1, 2, 5 и 6 пылепроводы приняты трубы 89х9 мм, для коротких – к горелкам №3, 4, 7 и 8 пылепроводы трубы 76х7 мм.

#### **Анализ тракта сжатого воздуха**

Для нормальной работы системы ПВКд обязательно поддерживать давление в коллекторе сжатого воздуха 0,41 кгс/см<sup>2</sup>. Применение воздуходувки ТВ-80-1,4 обеспечивает нормальную работу системы ПВКд котла во всех режимах.

#### **Анализ существующих горелочных устройств**

Котел оборудован восемью пылеугольными горелками, которые расположены тангенциально в углах топки, в два яруса. Внутри горелки находятся две изогнутые продольные перегородки. Регулирование скоростного режима в каналах не предусмотрено. Скорость воздуха во всех каналах одинаковая. Вдоль левой стенки выполнен ввод пыли от пылепровода ПВКд. На конце пылепровода установлен рассекатель. Выполнение разделения пыли на два потока, положительно скажется на выгорании топлива.

#### **Вывод**

Применение системы ПВКд с выполнением ряда технологических и конструктивных решений, приводит к улучшению энергоэффективности работы котла Е-250-9,8-545 КТ, а также приводит к снижению выбросов NOx совместно с применением двухступенчатого сжигания топлива.

## **6 Автоматизация процессов горения и парообразования**

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП) это комплекс технических и программных средств, предназначенных для оперативного контроля и управления во всех режимах работы котлоагрегата (пуск, останов, поддержание набор и сброс нагрузки), должны обеспечивать надежную, безопасную и экономичную работу оборудования.

Основными задачами решаемыми АСУТП являются:

- информационно-измерительные;
- дистанционное управления оборудованием (арматура, механизмы);
- технологическая сигнализация;
- технологические защиты и блокировки;
- система автоматического регулирования;
- диагностика состояния оборудования;
- расчет технико-экономических показателей;
- сервисные задачи.

В настоящее время АСУТП строятся на современных промышленных контроллерах, вычислительные мощности позволяют реализовать алгоритмы управления любой степени сложности.

Далее приведено описание подсистем АСУТП, связанных с работой системы ПВКд.

### **6.1 Сигнализации, защиты и блокировки в системе ПВКд**

#### **Технологическая сигнализация**

Система ПВКд оснащается световой и звуковой сигнализацией при понижении давления в коллекторе ПВКд котла, снижении давления пылевоздушной смеси перед горелками, аварийном отключении пылепитателей. Сигнализации делятся на предупредительные и аварийные.

## **Технологические защиты**

Технологические защиты направлены на автоматическое отключение оборудования при достижении аварийных значений параметров. Делятся на защиты, действующие на останов котла; защиты, действующие на останов системы пылеприготовления; локальные защиты, действующие на отключение отдельных механизмов; защиты, действующие на сброс нагрузки котла.

В системе ПВКд действуют следующие защиты:

- Забивание пылепровода основной горелки, при повышении давления подаваемого из системы ПВКд за смесителем пыли до величины 20 кПа, контролируется одним датчиком и действует на отключение пылепитателя, подключенного к забитому пылепроводу. Защита вводится при включении и выводится при отключении пылепитателя;
- Снижение давления воздуха в коллекторе ПВКд до 25 кПа, дает сигнал на останов котла. Защита вводится, если «Защиты введены» и переключатель топлива в положение «Уголь». Защита дополнительно действует на отключение всех пылепитателей и закрытие задвижки на воздухопроводе системы ПВКд к котлу.

## **Технологические блокировки**

Технологические блокировки выполняют действия на отключение/включение, закрытие/открытие и запреты на различные действия с оборудованием, при наличии технологических ограничений.

В системе ПВКд действуют следующие блокировки:

- Если отключены электродвигатели всех дымососов или отключены электродвигатели всех дутьевых вентиляторов, то закрывается и не может быть открыта задвижка на воздухопроводе системы ПВКд к котлу;
- Если давление воздуха после задвижки на воздухопроводе ПВКд ниже уставки срабатывания защиты «Понижение давление воздуха в системе

ПВКд» или давление воздуха в смесителе ниже 1,5 кПа, то запрещается включение пылепитателя, работающего на этот смеситель;

- Если закрыта задвижка на воздухопроводе системы ПВКд, то отключаются все пылепитатели и запрещается их включение;
- Автоматический ввод резерва при отказе работающей воздуходувки.

### **Система автоматического регулирования**

Для автоматического управления работой котла с системой ПВКд предусмотрены следующие регуляторы:

- Регулятор давления воздуха в общем коллекторе системы ПВКд, предназначен для обеспечения надежной транспортировки пыли системой ПВКд к горелкам котла, исключаящее возникновение и развитие помпажных ситуаций, воздействует на регулирующий клапан;
- Регулятор тепловой нагрузки, предназначен для поддержания тепловой нагрузки котла, которая определяется по расходу пара на выходе из котла и скорости изменения давления в барабане в соответствии с заданием от главного регулятора или задатчика;
- Регулятор давления пара за котлом предназначен для поддержания давления пара на выходе из котла изменением его производительности. Регулятор является корректирующим (главным регулятором) и меняет задание регулятору тепловой нагрузки.

### **6.2 Описание системы автоматического регулирования**

Количество пара на выходе из котла при стационарном режиме работы соответствует количеству топлива, подаваемого в котел для сжигания, о чем свидетельствует неизменность давления пара.

При сжигании топлива потери теплоты, которые передается поверхностям нагрева котла должны быть минимизированы, что обеспечивает максимальную экономичность работы котла.

В процессе регулирования сжигания топлива в топке котла должно обеспечиваться поддержание тепловых параметров:

- давления свежего пара на выходе котла, тепловой нагрузки;
- объем воздуха, подаваемого в топку, для сжигания всего топлива;
- разрежения, измеряемое вверху топки котла.

Динамика процесса парообразования может быть описано следующим уравнение теплового баланса [9]:

$$A \frac{dp_6}{dt} = Q'_T - D_6(i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}}) \quad (65)$$

«Скорость изменения давления в барабане прямо пропорционально количеству тепла, затраченному на нагрев пароводяной смеси, разности тепла воспринятым пароводяной смесью и теплом выработанного пара [9]».

Преобразуем уравнение (65) разделив левую и правую части на  $(i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}})$ , получим:

$$\frac{A}{(i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}})} \frac{dp_6}{dt} = \frac{Q'_T}{(i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}})} - D_6 \quad (66)$$

Введем обозначения  $M = \frac{A}{(i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}})}$  – постоянная, характеризующая аккумулирующую способность пароводяной смеси и поверхностей нагрева котла;  $D_q = \frac{Q'_T}{(i_{\text{нп}} - i_{\text{пв}})}$  – тепловая нагрузка котла, характеризующая тепловосприятие испарительных поверхностей;  $D_{\text{пп}} \approx D_6$  – расход перегретого пара на выходе котла. Получаем уравнение для импульса по тепловой нагрузке:

$$D_q = M \frac{dp_6}{dt} - D_{\text{пп}} \quad (67)$$

Существующие способы и схемы автоматического регулирования тепловой нагрузки и давления пара основаны на принципах регулирования по отклонению и возмущению. Способы определяют по заданному режиму работы котла – базовый или регулирующий и схема присоединения паропровода к турбине.

В базовом режиме поддержание паровой нагрузки не зависит от изменения общей электрической или тепловой нагрузки ТЭС.



нагрузки котла 8 и скорости 7 изменения давления в барабане котла 1. Воздействие регулятора осуществляется изменением числа оборотов пылепитателей 3.

Данная схема имеет гораздо меньшую инерционность, чем схема, работающая по давлению в барабане. Время запаздывания схемы с импульсом по «теплу» составляет  $\tau = 25$  с, против  $\tau = 25$  с для схемы с импульсом по давлению [9].

Схема регулятора тепловой нагрузке позволяет перераспределять топливо на горелки верхнего и нижнего яруса. Схемой регулятора предусмотрена операция деления выходного сигнала интегратора на сигнал пропорциональный числу включенных пылепитателей. Это позволяет компенсировать возмущения, возникающие при включении и отключении пылепитателей, без участия регулятора.

Схема с применением системы ПВКд и пылепитателей с частотным приводом существенно увеличивают маневренность работы котла при работе в регулирующем режиме.

В приложении А приведена схема автоматизации САР тепловой нагрузки котла.

### **6.3 Технические средства системы автоматизации**

АСУТП котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ стационарный №3 построена на программно-техническом комплексе ПТК Торнадо-Н, производства ЗАО «Модульные Системы Торнадо», г. Новосибирск.

«Программно-технический комплекс нового поколения (ПТК) «Торнадо» является системой класса DCS и обладает уникальными возможностями по масштабируемости, надежности и производительности. Использование ПТК «Торнадо» при создании АСУТП позволяет в кратчайшие сроки создавать полнофункциональные системы контроля и управления любой сложности [27]».

«Аппаратная часть комплекса (модули ввода-вывода и промышленные компьютеры) разработана компанией «Модульные системы Торнадо» самостоятельно. Архитектура комплекса основана на передовых открытых информационных технологиях. Построенный на современных сетевых решениях, ПТК «Торнадо» демонстрирует новый подход к созданию высокопроизводительных и надежных систем управления технологическими процессами».

«Программные компоненты ПТК базируются на продуктах ISaGRAF и InTouch от ведущих мировых лидеров. Система интегрирована в единый комплекс посредством уникального программного обеспечения, разработанного компанией».

«Широкий набор прикладных библиотек для реализации технологических функций и обеспечения человеко-машинного интерфейса нарабатывался на протяжении многих лет в тесном сотрудничестве с предприятиями энергетики и промышленности.

Универсальность, масштабируемость и модульная структура позволяют легко адаптировать комплекс под требования Заказчика».

Все блоки ПТК производятся в компании «Модульные Системы Торнадо».

ПТК «Торнадо» имеет все необходимые разрешительные документы, включён в Государственный реестр средств измерения Российской Федерации и Республики Казахстан.

На рисунке 10 представлен пример видеокadra «Система пылеприготовления» котла.

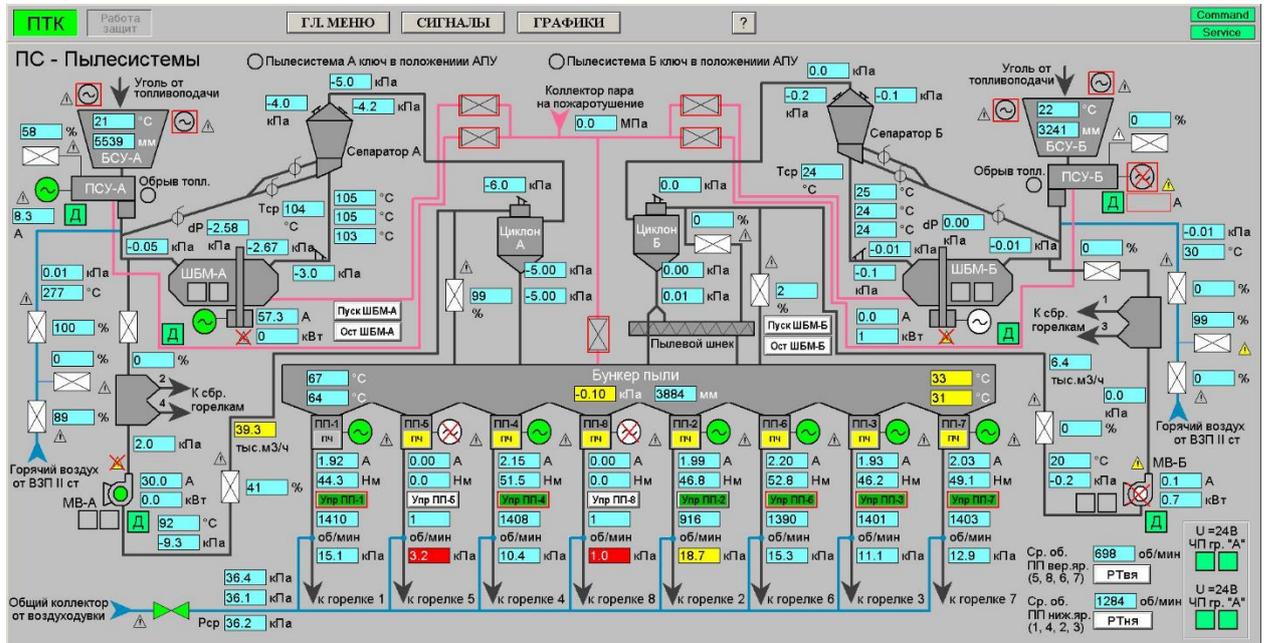


Рисунок 10 – Пример видеокadra «Система пылеприготовления»

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Б8Б	Беланову Павлу Владимировичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>И.Н.Бутакова</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	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>	<i>Оклад руководителя 40000 руб. Оклад инженера 16000 руб. Затраты на материалы и оборудования 15000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Накладные расходы – 16% Районный коэффициент 1,3 для г. Томск</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение трудоемкости работ для НИИ, разработка графика проведения НИИ, составление бюджета НИИ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИИ</i>

**Перечень графического материала:**

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	
--	--

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Б8Б	Беланов Павел Владимирович		

## **7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела является модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с внедрением системы пылепроводов высокой концентрации под давлением. Оценить перспективность внедрения проекта и провести планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта.

Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

### **7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **7.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки систем пылеприготовления котла:

1. Система пылеприготовления с промежуточным бункером, оборудованные шаровыми барабанными мельницами с шнековыми пылепитателями и традиционной системой управления технологическим процессом.

2. Система пылеприготовления с промежуточным бункером, оборудованные шаровыми барабанными мельницами с лопастными пылепитателями, оснащенными частотным приводом и современной, автоматизированной системой управления технологическим процессом АСУТП на ПЛК.

3. Система пылеприготовления с подачей пыли высокой концентрации под давлением с пылепитателями, оснащенными частотным приводом и современной, автоматизированной системой управления технологическим процессом АСУТП на ПЛК.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 9.

Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что разработка имеет высокий уровень конкурентоспособности.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i \quad (68)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 9 – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Энергоэффективность	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
2. Надёжность	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
3. Удобство монтажа	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
4. Простота эксплуатации	0,2	4	4	5	0,8	0,8	1
5. Простота в управлении	0,15	4	5	5	0,6	0,75	0,75
6. Компактность	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
7. Уменьшение вредных выбросов	0,15	2	3	4	0,3	0,45	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,025	5	5	4	0,125	0,125	0,1
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,025	3	3	4	0,075	0,075	0,1
3. Финансирование научного исследования	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
Итого	1	33	38	42	3,25	3,85	4,35

### 7.1.2 SWOT-анализ

Произведем разделе SWOT – анализ НИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Использование современных компонентов системы	Сл1. Уровень проникновения на рынок
С2. Удобство в эксплуатации	Сл2. Потребность в высококвалифицированном персонале.
С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл3. Отсутствие финансирования на первых этапах
С4. Экологические показатели	Сл4. Сложности в наладке на этапе внедрения
С5. Большой срок эксплуатации	Сл5. Сроки реализации проекта
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Возможность внедрения на другие станции и, как следствие, появление большего спроса на продукцию.	У1. Срыв проекта из-за отсутствия исполнителей
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки	У2. Отсутствие финансирования на этапе внедрения проекта
В3. Продажа технологии более крупному производителю	У3. Потеря актуальности в связи с длительной разработкой
В4..Привлечение новых исполнителей для выполнения всего комплекса работ	У4. Повышение стоимости на компоненты системы

Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон разработанного проекта условиям окружающей среды. Составим интерактивную матрицу возможностей в таблице 11 и угроз в таблице 12.

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей проекта

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	-	+	+	-
	B3	+	+	+	+	+
	B4	-	+	+	-	+
<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	-	-	+	-
	B2	+	-	-	-	-
	B3	-	+	+	-	+
	B4	+	+	-	+	+

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз проекта

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	+	+	+	+	-
	У3	-	-	-	+	+
	У4	+	-	-	+	+
<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 13.

Таблица 13 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Использование современных компонентов системы. С2. Удобство в эксплуатации С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С4. Экологические показатели С5. Большой срок эксплуатации	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Уровень проникновения на рынок Сл2. Потребность в высококвалифицированном персонале. Сл3. Сроки реализации проекта Сл4. Сложности в наладке на этапе внедрения Сл5. Отсутствие финансирования на первых этапах
<b>Возможности:</b> В1. Возможность внедрения на другие станции и, как следствие, появление большего спроса на продукцию В2. Появление потенциального спроса на новые разработки В3 Продажа технологии более крупному производителю В4. Привлечение новых исполнителей для выполнения всего комплекса работ	Наилучший исход — это получение наилучших экономических, экологических и эксплуатационных показателей работы предприятия в случае, если технология окажется интересна руководству предприятий и крупных инвесторов	Главная проблема — это отсутствие достаточного количества квалифицированных исполнителей и отсутствия финансирования на начальных этапах
<b>Угрозы:</b> У1. Срыв проекта из-за отсутствия исполнителей У2 Отсутствие финансирования на этапе внедрения проекта У3. Потеря актуальности в связи с длительной разработкой У4. Повышение стоимости на компоненты системы	Сильные стороны проекта, в потенциале могут компенсировать отсутствие финансирования, а также частично удорожание компонентов, в определенные периоды времени. Но отсутствие исполнителей и потеря актуальности являются реальной угрозой.	Для устранения всех угроз и слабых сторон, необходима подготовка квалифицированных кадров, реальная заинтересованность руководства предприятия в улучшении качества и экономичности работы с соблюдением всех предписанных норм и регламентов.

**ВыводSWOT-анализу:** в ходе анализа рассмотрены сильные и слабые стороны научного проекта. Как позитивные, так и негативные – возможности и угрозы.

SWOT–анализ показал, что данная разработка может иметь два кардинально отличающихся исхода событий. Третий вариант очень хороший вариант, при котором к данной разработке появится интерес у сторонних производителей и инвесторов. Это приведет к увеличению финансирования и появлению новых квалифицированных кадров, которые ускорят разработку. Данный вариант также интересен за счет увеличения экономических, экологических и эксплуатационных показателей работы предприятия.

## 7.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы диссертации	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор, изучение литературы и конкурентных решений в данной сфере	Инженер
	3	Календарное планирование по теме	Руководитель

Продолжение таблицы 14

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретическое исследование	4	Поиск и анализ существующих решений	Инженер
	5	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков	Инженер
Обобщение и оценка результатов  Разработка проектно-сметной и рабочей документации	6	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	7	Определение целесообразности конструкторской документации	Руководитель
	8	Разработка проектной, конструкторской документации, спецификация оборудования и сметной документации	Руководитель, инженер
	9	Оценка коммерческого потенциала, экономичности и энергоэффективности	Руководитель, инженер
	10	Разработка мероприятий по охране труда и экологии	Руководитель, инженер
Оформление отчета НИР	11	Составление пояснительной записки	Инженер

### 7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в чел.-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (69)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дни;  
 $t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дни;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{Pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями.

Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (70)$$

где  $T_{Pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{Pi} \cdot k \quad (71)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{Pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 89 - 29} = 1,48 \quad (72)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{праз}}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения НИ в таблице 15.

Таблица 15 – Временные показатели проведения НИ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{Pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{mini}$ , чел-дни		$t_{maxi}$ , чел-дни		$t_{ожи}$ , чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
Составление и утверждение технического задания	2	-	3	-	2,4	-	2,4	4
Подбор, изучение литературы и конкурентных решений в данной сфере		6		7	-	6,4	6,4	10
Календарное планирование по теме	1		2		1,4		1,4	3
Поиск и анализ существующих решений		7		10	-	8,2	8,2	13
Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков		3		5	-	3,8	3,8	6
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		2,4		2,4	4
Определение целесообразности конструкторской документации	2		3		2,4		2,4	4
Разработка проектной, конструкторской документации, спецификация оборудования и сметной документации	5	45	7	60	5,8	51	51	76
Оценка коммерческого потенциала, экономичности и энергоэффективности	1	3	2	5	1,4	3,8	3,8	6
Разработка мероприятий по охране труда и экологии	1	5	2	7	1,4	5,8	5,8	9
Составление пояснительной записки		6		8	-	6,8	6,8	11
<b>Итого:</b>					17,2	85,8	94,4	146

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта в таблица 16.

Таблица 16 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнитель	Кол-во кал.дн. T <sub>кi</sub>	Продолжительность выполнения работ															
				февраль			март			апрель			май			июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Рук-ль	4	■															
2	Подбор, изучение литературы и конкурентных решений в данной сфере	Инженер	10	■	■														
3	Календарное планирование по теме	Рук-ль	3		■														
4	Поиск и анализ существующих решений	Инженер	13		■	■	■												
5	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков	Инженер	6				■	■	■										
6	Оценка эффективности полученных результатов	Рук-ль	4					■	■										
7	Определение целесообразности конструкторской документации	Рук-ль	4						■										
8	Разработка проектной, конструкторской документации, спецификация оборудования и сметной документации	Рук-ль, инженер	76							■	■	■	■	■	■				
9	Оценка коммерческого потенциала, экономичности и энергоэффективности	Рук-ль, инженер	6														■	■	
10	Разработка мероприятий по охране труда и экологии	Рук-ль, инженер	9														■	■	
11	Составление пояснительной записки	Инженер	11															■	

## 7.3 Бюджет научно-технического исследования

### 7.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В данном разделе отражаются все затраты используемые при выполнении работы.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum C_i \cdot N_{расхi} \quad (73)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.).

Материальные затраты приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	460	5	2300
Картридж для лазерного принтера	910	2	1820
Офисная бумага А4 (в форме малой коробки)	5600	1	5600
USB накопитель	750	1	750
Итого:			<b>10470</b>

### 7.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

К специальному оборудованию при выполнении проекта отнесем рабочий компьютер и принтер, так как техника не новая и использовалась ранее считает только в рабочие использованные дни.

Затраты на амортизацию компьютерной техники рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.ист}}}{T_{\text{кал}}} \cdot Ц_{\text{КТ}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} \quad (74)$$

где  $T_{\text{исп.ист}}$  – дни использования компьютерной техники;

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

$Ц_{\text{КТ}}$  – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники, 5 лет.

$$K_{\text{а.комп}} = \frac{146}{365} \cdot 35000 \cdot \frac{1}{5} = 2800 \text{ руб}$$

$$K_{\text{а.прин}} = \frac{20}{365} \cdot 20000 \cdot \frac{1}{5} = 219 \text{ руб}$$

Сумма амортизационных отчислений:

$$K_{\text{а}} = K_{\text{а.комп}} + K_{\text{а.прин}} = 2800 + 219 = 3019 \text{ руб} \quad (75)$$

### 7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе учитывается основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НИИ это инженера и руководителя действующая система оклада.

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} \quad (76)$$

где  $З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{\text{осн}}$ ).

Среднедневная заработная плата рассчитывается:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (77)$$

где  $З_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (в данном случае  $F_{\text{д}} = 247$  дней);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 28 раб. дней,  $M = 8,1$  месяц, 5-дневная рабочая неделя);

Баланс рабочего времени приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	28	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219

Должностной оклад инженера и студента за месяц определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (78)$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя  $Z_{TC}^{рук} = 40000$  руб, а для инженера  $Z_{TC}^{инж} = 16000$  руб);

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск);

По формуле 78 определяется должностной оклад руководителя и инженера за месяц:

$$Z_M^{рук} = 40000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 78000 \text{ руб}$$

$$Z_M^{инж} = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и инженера рассчитывается по формуле 77:

$$Z_{дн}^{рук} = \frac{Z_M^{рук} \cdot M}{F_d} = \frac{78000 \cdot 8,1}{219} = 2884,9 \text{ руб}$$

$$Z_{дн}^{инж} = \frac{Z_M^{инж} \cdot M}{F_d} = \frac{31200 \cdot 8,1}{219} = 1154 \text{ руб}$$

Основная заработная плата руководителя и инженера рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{p1} \quad (79)$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} = Z_{\text{дн}}^{\text{рук}} \cdot T_{p1} = 2884,9 \cdot 18 = 51928,8 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = Z_{\text{дн}}^{\text{инж}} \cdot T_{p1} = 1154 \cdot 86 = 99241,6 \text{ руб}$$

Таким образом, затраты на общую основную заработную плату составляют:

$$Z_{\text{общ}}^{\text{сум}} = Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} + Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 51928,8 + 99241,6 = 151170,4 \text{ руб} \quad (80)$$

Расчет основной заработной платы исполнителей в таблице 18.

Таблица 18 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}$ , руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб	$T_{\text{р}}$ , дн	$Z_{\text{осн}}$ , руб
Руководитель	40000	0,3	0,2	1,3	78000	2884,9	18	51928,8
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1154,0	86	99241,6
Итого:								151170,4

#### 7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (81)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,12- 0,15).

$$Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} = 0,15 \cdot 51928,8 = 7789,3 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = 0,15 \cdot 99241,6 = 14886,2 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_{\text{доп}}^{\text{сум}} = Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} + Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = 7789,3 + 14886,2 = 22675,6 \text{ руб} \quad (82)$$

### 7.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные (страховые отчисления) фонды определяются по формуле:

$$Z_{\text{внеб}1} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}1} + Z_{\text{доп}1}) \quad (83)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году - 30%.

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = 0,3 \cdot (51928,8 + 7789,3) = 17915,4 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = 0,3 \cdot (99241,6 + 14886,2) = 34238,4 \text{ руб}$$

Суммарная сумма отчислений равна:

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{сум}} = Z_{\text{внеб}}^{\text{рук}} + Z_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = 17915,4 + 34238,4 = 52153,8 \text{ руб} \quad (84)$$

### 7.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и т.д.

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) k_{\text{нр}} \quad (85)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента принимается равной 0,16

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{общ}}^{\text{сум}} + Z_{\text{доп}}^{\text{сум}} + Z_{\text{внеб}}^{\text{сум}} + Z_{\text{м}} + K_{\text{ам}}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (86)$$

$$Z_{\text{накл}} = (151170,4 + 22675,6 + 52153,8 + 10470 + 3019) \cdot 0,16 = 8318,2 \text{ руб}$$

### 7.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Итоговые рассчитанные величины затрат научно-исследовательской работы являются основами для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, рубль	Примечание
1. Затраты на материалы	10 470,0	п.7.3.1
2. Амортизационные отчисления	3 019,0	п.7.3.2
3. Основная заработная плата	151 170,4	п.7.3.3
4. Дополнительная заработная плата	22 675,6	п.7.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	52 153,8	п.7.3.5
Итого без накладных расходов	239 488,9	
6. Накладные расходы	38 318,2	п.7.3.6
Итого общая стоимость	277 807,2	

По итогу формирования бюджета затрат на НИИ вышло, что общие затраты составляют 277807,2 руб.

#### **7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (87)$$

где  $I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

Определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{тек.пр}} = 277807,2 \text{руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.1}} = 330500,0 \text{руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 420000,0 \text{руб}$$

$$\Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{исп.1}} = 420000,0 \text{руб}$$

По формуле 81 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта и конкурентным вариантам:

$$I_{\text{фин}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{277807,2}{420000,0} = 0,661$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{330500,0}{420000,0} = 0,787$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{420000,0}{420000,0} = 1$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с небольшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра сведены в таблица 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,3	4	4	5
2. Энергоэффективность	0,25	4	5	5
3. Технические характеристики	0,2	4	4	5
4. Простота в эксплуатации	0,1	5	4	3
5. Доступность компонентов	0,15	5	3	3
ИТОГО	1	4,25	4,1	4,5

По данным из таблицы 20 определяется интегральный показатель ресурсоэффективности

для текущего проекта:

$$I_p^{\text{тек.пр}} = 0,3 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,25$$

для первого конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0,3 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,1$$

для второго конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,3 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 = 4,5$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект имеет небольшое отставание от второго конкурентного проекта, считается приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

Интегральные показатели эффективности всех вариантов вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}} \quad (88)$$

где  $I_{\text{эф.}i}$  – интегральный показатель эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_p^{\text{исп.}i}$  – интегральный показатель ресурсной эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель  $i$ -ого варианта разработки;

По формуле 82 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта и конкурентным вариантам:

$$I_{\text{эф.тек.пр}} = \frac{I_p^{\text{тек.пр}}}{I_{\text{фин}}^{\text{тек.пр}}} = \frac{4,25}{0,661} = 6,43$$

для первого конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.1}} = \frac{I_p^{\text{исп.1}}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,1}{0,787} = 5,21$$

для второго конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_p^{\text{исп.2}}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4,5}{1} = 4,5$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось с средним значением интегрального показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов таблица 21.

Таблица 21 – Сравнительные эффективности разработок

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,661	0,787	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	4,1	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	6,43	5,21	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,7

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсоэффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

### **Вывод**

В ходе работы был проведен экономический анализ проекта, посчитаны разного рода затраты, зарплатные отчисления, проведен SWOT-анализ, выявлены сильные и слабые стороны проекта, выявлены конкуренты и произведено сравнение с похожими конкурирующими разработками, составлен календарный рейтинг план с расчетом трудозатрат, а также построена диаграмма Ганта на основе этих данных.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
Д-5Б8Б		Беланову Павлу Владимировичу	
<b>Школа</b>	ИШЭ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	И.Н.Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

**Модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<b>Введение</b>	<p><i>Объект исследования: система пылеприготовления_</i>  <i>Область применения: теплоэнергетика</i>  <i>Рабочая зона: здание котельной установки</i>  <i>Размеры помещения: 20×30м.</i>  <i>Климатическая зона: резко континентальный и засушливый климат</i>  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i>  <i>Пылеприготовительное оборудование котла.</i>  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей, подача угольной пыли с высокой концентрацией под давлением</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 07.10.2022)          ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».          ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p>Выявленными опасными факторами могут являться:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;</li> <li>2. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</li> <li>3. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов.</li> </ol> <p>Выявленными вредными факторами может, являться:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. повышенная концентрация СО в помещении;</li> <li>5. повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны;</li> <li>6. повышенный уровень общей вибрации;</li> </ol>

	Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: изоляция, распределительные щиты управления, костюм защитный, защитная каска, средство индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующее, вентиляции и очистки воздуха.
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	<b>Воздействие на селитебную зону:</b> Воздействие на селитебную зону не происходит <b>Воздействие на литосферу:</b> твердые производственные отходы <b>Воздействие на гидросферу:</b> сброс охлаждающей воды при использовании в качестве охладителя рек, прудов. <b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы продуктов сгорания из дымовой трубы
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	Возможные ЧС: пожар, взрыв, Наиболее типичная ЧС: пожары
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланов Павел Владимирович		

## **8 Социальная ответственность**

В данном разделе рассматривается повышение надежности с точки зрения безопасности жизнедеятельности в соответствии с трудовым законодательством.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является система пылеприготовления.

Целью данной работы является модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением.

Воздуходувки системы пылепровода высокой концентрации под давлением расположены в отдельном примыкающем к котельному цеху помещении.

На групповом щите управления котлоагрегата, расположено оборудование АСУТП и пульт управления котлом, которое является рабочим местом машиниста-оператора котла. Групповой щит управления расположен в котельном цеху. Размеры помещения 20×30м. На ГрЩУ расположены пульта управления; экран коллективного пользования (ЭКП); шкаф аварийного управления котла (АПУ); шкафы оборудования программно-технического комплекса; средства связи.

Машинист-оператор котла при оперативном управлении получает информацию о ходе технологического процесса, состояния оборудования с технологических видеокадров. Видеокадры разбиты по технологическим трактам котла – пароводяной, газовоздушный, пылеприготовления и тракт подачи угольной пыли с высокой концентрацией под давлением. Видеокадры отображаются на мониторе персонального компьютера или ЭКП. Манипулятором типа «мышь» машинист-оператор выполняет управление исполнительными механизмами и запорно-регулирующей арматурой.

Машинист-оператор выполняет работу за рабочим креслом и столом с мониторами, которые имеют хороший обзор и цветовые решения, что

позволяет не ухудшать зрение. В помещении ГрЩУ организована приточно-вытяжная вентиляция, выполнены мероприятия по снижению шума и вибрации.

При разработке раздела учитывались действующие нормативно-технические документы, обеспечивающие безопасность и экологичность проекта.

## **8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства**

В трудовом кодексе РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ, содержатся положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и др. [28]. В соответствии трудовому кодексу машинист-оператор имеет право на сокращенный рабочий день.

Продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Согласно ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина» [29]. При создании рабочего места машиниста-оператора следует учитывать:

1. рабочую позу человека-оператора;
2. пространство для размещения человека-оператора;
3. возможность обзора элементов рабочего места;
4. возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
5. возможность ведения записей, размещения документации и-материалов, используемых человеком-оператором.

В качестве особых условий для допуска к работе необходимо прохождение инструктажа по охране труда, а также обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров в порядке, установленном законодательством Российской Федерации [30].

Порядок хранения и использования персональных данных работников устанавливается работодателем с соблюдением требований настоящего Кодекса и иных федеральных законов.

В целях обеспечения прав и свобод человека и гражданина работодатель и его представители при обработке персональных данных работника обязаны соблюдать следующие общие требования:

- все персональные данные работника следует получать у него самого;
- при определении объема и содержания обрабатываемых персональных данных работника работодатель должен руководствоваться Конституцией Российской Федерации, настоящим Кодексом и иными федеральными законами;
- при принятии решений, затрагивающих интересы работника, работодатель не имеет права основываться на персональных данных работника, полученных исключительно в результате их автоматизированной обработки или электронного получения;
- работники не должны отказываться от своих прав на сохранение и защиту тайны.

От квалификации и сложности работы зависит заработная плата каждого работника.

При выполнении сверхурочной работы, работ в ночное время, праздничные дни и других условий, отклоняющихся от нормальных, работнику производятся выплаты, предусмотренные трудовым законодательством и иным нормативным правовым актом.

Нормы выработки, времени, и другие нормы могут пересматриваться по мере внедрения новой техники и технологии. Для однородных работ устанавливаются типовые нормы труда, которые разрабатываются и утверждаются в порядке, установленном уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.

Согласно Трудовому Кодексу РФ (статья 219), лица, занятые на работах с вредными и опасными условиями труда, должны получать определенные гарантии и компенсации, которые устанавливаются Трудовым Кодексом РФ, коллективным договором, соглашением, локальными актами, трудовым договором с работодателем. Размер компенсации, порядок и условия прописаны в статьях 92, 117 и 147 ТК РФ [28].

К таким компенсациям относятся

- Повышенная оплата труда на не менее 4% - ст. 147 ТК.
- Выдача молока или других равноценные пищевые продукты – ст.222 ТК, приказ Минтруда № 291н от 12.05.2022.
- Досрочное назначение страховой пенсии - малый список постановления Правительства № 537.
- Сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю - ст. 92 ТК
- Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск не менее 7 дней -ст. 117ТК.

### **8.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны**

Рабочее место должно иметь достаточное пространство для осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. Все требуемые органы управления и индикаторы автоматизированного рабочего места должны быть группированы и полностью расположены в зоне досягаемости рабочего.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы [31].

Основная работа машиниста-оператора заключается в управлении и мониторинге процесса работы котла, поэтому экран монитора следует располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от сагиттальной плоскости. Часто используемые источники информации должны быть расположены под углами  $30^\circ$ , а редко используемые –  $60^\circ$ .

## 8.2 Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 22.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные производственные факторы машиниста-оператора на ГрЩУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
<b>Опасные факторы</b>	
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [32]
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [33]
Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов	Приказ Минтруда РФ от 27.11.2020 N 833Н "Об утверждении Правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования"[34]
<b>Вредные факторы</b>	
Повышенная концентрация СО в помещении	ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. [35]
Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [36].
Повышенный уровень общей вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»[32]

**Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека**

В ходе работы на производстве случаются несчастные случаи получения тяжелых или смертельных ожогов. Многие ожоги получены паром охватывают значительную площадь кожи, не затрагивая глубокие слои, что относится I и II степени поражения.

Ожоги на рабочем месте являются предсказуемым источником травм.

На рассматриваемом объекте бывают: термические ожоги (воздействие высокой температуры), электрические ожоги.

Причиной может быть неосторожное обращение с нагретым оборудованием. Важным приоритетом является контроль и остановка процесса горения. Ожог можно предотвратить, используя тактику предотвращения пожара, надев средства индивидуальной защиты, а также имея процедуры и планы действий в чрезвычайных ситуациях.

**Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий**

Котельная установка представляет потенциальную опасность, так как оборудование и комплектующие находятся под напряжением. При работе возможно поражение электрическим током, что приведет к нагреву сосудов, механическим повреждениям тканей и сосудов.

Мерами защиты являются распределительные щиты управления, покрытия и изолирующие устройства, заземление и автоматическое отключения питания. Необходимо размещать предупредительные знаки и плакаты безопасности. Общие требования по электробезопасности представлены в ГОСТ 12.1.019-2017 [33].

В котельном цеху применяют электроустановки, которые эксплуатируются в помещении с повышенной температурой воздуха и

большой влажностью. В процессе эксплуатации возможно коснуться комплектующих, находящихся под напряжением, что ведет к появлению ожога, механических повреждений тканей и т.д.

Мерами предосторожности является: изоляция и распределительные щиты управления. К средствам индивидуальной защиты относятся: специальная защитная одежда, обувь, перчатки, каска изолирующие подставки и коврики.

### **Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов**

В процессе работы есть угроза получить порезы от острых кромок, заусенцев, шероховатости деталей и заготовок.

Наиболее частыми причинами травматизма является: несоблюдением техники безопасности, отсутствие спецодежды, защита глаз, лица.

Необходимо проводить периодический контроль инструментов и оборудования на исправность, проверять рабочих на знание техники безопасности а также ее соблюдения. Необходимо вывешивать плакаты в местах, где рабочие наиболее подвержены к травматизму и выставлять знаки и таблички, которые напоминают о средствах защиты.

К средствам индивидуальной защиты относятся: специальная защитная одежда, защитные очки, перчатки, каска.

### **Повышенная концентрация СО в помещении**

При работе котлов и других тепловых устройств, использующих газообразное, жидкое или твердое топливо в воздухе производственных помещений может возникнуть избыточная концентрация оксида углерода.

Причинами повышенного содержания оксида углерода могут быть:

1. нарушение в работе топливо-сжигающих агрегатов
2. неплотности в конструкции, вследствие чего происходят утечки оксида углерода.

Недостаточная плотность соприкосновении стальных конструкций дымохода ведет к утечке СО в производственное помещение. Повышенная концентрация СО может привести к интоксикации, головокружению и даже летальному исходу. Предельно допустимые концентрации СО в воздухе сведены в таблицу 23.

Таблица 23 – Предельно-допустимая концентрация СО в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Особенности действия на организм
Оксид углерода	СО	20	О
<p>При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч предельно допустимая концентрация оксида углерода может быть повышена до 50 мг/м<sup>3</sup>. При длительности работы не более 30 мин - до 100 мг/м<sup>3</sup>. При длительности работы не более 15 мин - 200 мг/м<sup>3</sup>. Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее, чем в 2.</p>			

Одним из самых известных методов по снижению концентрации в производственных помещениях углекислого газа является метод рециркуляции.

К коллективным средствам защиты относятся: средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест, которые включают в себя устройства вентиляции, автоматический контроль и сигнализацию.

К индивидуальным средствам защиты относятся: фильтрующие средства индивидуальной защиты органов дыхания: полумаски фильтрующие, респираторы, противогазы.

### **Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны**

При выполнении производственных работ, возможно выделение в воздушную среду вредных веществ, которые вызывают профессиональные заболевания такие как: аллергии, легочные заболевания. Вредные вещества

приводят к утомляемости человека и к увеличению числа ошибок, совершаемых им на производстве.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны согласно ГОСТ 12.1.005-88 [36] сведены в таблицу 24.

Таблица 24 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК Мг/м <sup>3</sup>	Преимущественно агрессивное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )	2	П	3	О
Оксид азота (NO)	5	П	3	О
Оксид углерода (CO)	20	П	4	О
Углероды алифатические	300	П	4	

п - пары; О - вещество с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе.

К нетоксическим видам пыли относят топливную пыль, золу, асбест, песок. Предельное содержание в воздухе производственных помещений нетоксической пыли, содержащей кварц более 10% и асбестовые отходы, — до 2 мг/м<sup>3</sup>; а всех остальных видов нетоксической пыли — до 10 мг/м<sup>3</sup>.

Наиболее запыленными местами являются: помещение котельного цеха, бункеры угля, транспортеры угля и транспортеры пыли.

В данных местах необходимо соблюдать чистоту, регулярно проводить уборку с удалением пыли со всех мест ее скопления. Проводится уборка по утвержденному графику. Пыль убирается гидросмывом или механизированным способом. При необходимости в отдельных местах ручной уборки эти работы допускается проводить только после увлажнения пыли распыленной водой.

Широкое распространение в системах контроля загазованности и запыленности получили датчики, определяющие концентрацию вредных

веществ в помещении. При этом, такие датчики оснащаются средствами сигнализации для оповещения персонала.

Для уменьшения запыленности и загазованности в помещении устанавливается вытяжная система. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно, кроме летнего периода времени, что связано с остановкой котельной. Персонал обеспечивается бытовыми помещениями, мылом, умывальниками, питьевой водой, спецодеждой и др.

### **Повышенный уровень общей вибрации**

Данный вредный фактор возникает в процессе эксплуатации котельного оборудования, источником может являться работа тягодутьевых механизмов, мельниц или электродвигателей.

В производственных условиях действует общая вибрация 3А категории, воздействие которой приводит к нарушению здоровья. Общая вибрация приводит к изменению сердечно-сосудистой системе, воздействует на нервную систему, нарушает обмен веществ. Амплитуда вибрации дымососов и вентиляторов не должна превышать 0,1 мм. При амплитуде равной 0,2 мм производят аварийный остановку оборудования.

Таблица 25 – Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации рабочих мест для машиниста-оператора технологической установки согласно СанПиН 1.2.3685-21

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Фильтр частотной коррекции	Эквивалентный скорректированные уровни виброускорения	
				м/с <sup>2</sup>	дБ
Общая	Технологическая вибрация на стационарных рабочих местах	Zo	Wk	0,1	100
		Xo	Wd	0,071	97

На этапе проектирования, а также в период эксплуатации производится минимизация вибраций. При выборе машин и оборудования, следует отдавать предпочтение кинематическим и технологическим схемам, которые исключают или максимально снижают динамику процессов, вызываемых ударами, резкими ускорениями и т.д. Также для снижения вибрации необходимо устранение резонансных режимов работы оборудования, то есть выбор режима работы при тщательном учете собственных частот машин и механизмов

Для уменьшения вибрации применяют виброизоляцию, которая снижает передачу вибрации от источника к полу. Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации рабочих мест сведены в таблицу 25.

Допустимые уровни вибрации соответствуют нормам.

### **8.3 Экологическая безопасность**

#### **Воздействие на литосферу**

В процессе эксплуатации парового котла образуются бытовые отходы, которые накапливаются на специально отведенной площадке и далее перевозятся на полигон твердых бытовых отходов.

Перспективные способы защиты литосферы являются технологии по сбору и переработке отходов.

#### **Воздействие на гидросферу**

В процессе эксплуатации парового котла воздействие на гидросферу характеризуется сбросом охлаждающей воды при использовании в качестве охладителя рек и прудов. Для безопасной эксплуатации и предотвращения ухудшения состояния водных объектов, целесообразно применять оптимальны меры:

Применять современные высокоэффективные виды оборудования и технологий для предотвращения сбросов.

Применять системы и сооружения для очистки, повторного использования и утилизации сточных вод.

Выбор данных мер зависит от станции и ее мощности, а также вида используемого топлива, системы охлаждения, местных климатических условий и прочих факторов с соответствующими технико-экономическими расчетами.

### **Защита атмосферы**

В процессе эксплуатации парового котла происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара. За последние 25 лет валовый выброс загрязняющих веществ на станциях сократился в 3 раза. В настоящий момент времени соблюдается предельно-допустимые нормы выбросов ПДВ в атмосферу. Удельные содержания  $\text{NO}_x$  в уходящих газах – не более 470 мг/м<sup>3</sup> при  $\alpha = 1,4$ .

Уменьшение достигается за счет внедрения комплекса технологических мер подавления оксидов азота, внедрением современного золоулавливающего оборудования и различных внедрений комбинированной технологии.

Возможно применение данных технологий для снижения выбросов:

1. Контролируемое снижение избытка воздуха;
2. Двухступенчатое сжигание без реконструкции котла;
3. Технологические методы, требующие изменения конструкции котла;
4. Двухступенчатое сжигание с реконструкцией котла;
5. Рециркуляция дымовых газов;
6. Подача пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд) в топку котлов.

Модернизация пылесистемы, рассматриваемая в выпускной квалификационной работе, позволяет снизить выбросы  $\text{NO}_x$  в среднем на 30%.

## 8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В котельной наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Одними из признаков возгорания является повышенная температура. Самой распространенной причиной возникновения пожара это несоблюдение техник безопасности или же нарушение, неправильные действия обслуживающего персонала в работе.

Перед допуском к работе проходят обучение мерам пожарной безопасности, путем ведения противопожарного инструктажа и прохождения пожарно-технического минимума, в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности.

Котельный агрегат любого типа немедленно останавливают в случае возникновения пожара, угрожающем котельному агрегату, при взрыве в топке, при срабатывании предохранительно-запарного клапана и уведомляют начальника котельной.

По пожаровзрывоопасности и взрывоопасности котельных цех относится к категории «Г» - степень огнестойкости несущих конструкций II степени СП 12.13130- 2009г.

Для помещений, в которых не исключено проникновение паров взрывоопасности применяют взрывозащищенную осветительную арматуру.

В соответствии с ППР № 390 от 25.04.2012г при эксплуатации котельных установок запрещается:

1. допускать к работе лиц, не прошедших специального обучения и не получивших соответствующих квалификационных удостоверений;
2. эксплуатировать теплопроизводящие установки при подтекании жидкого топлива (утечке газа) из систем топливоподачи, а также вентилей у топки и у емкости с топливом;
3. подавать топливо при потухших форсунках или газовых горелках;
4. разжигать установки без предварительной их продувки;
5. работать при неисправных или отключенных приборах контроля и регулирования, предусмотренных предприятием-изготовителем;

6. сушить какие-либо горючие материалы на котлах и паропроводах;
7. эксплуатировать котельные установки, работающие на твердом топливе, дымовые трубы которых не оборудованы искрогасителями и не очищены от сажи.

Основными огнетушащими веществами являются порошковые составы, позволяющие тушить как горючие газы, так и электроприборы., также возле каждого котла расположено по одному пожарному щит.

В самом котельном цехе находятся 18 ящиков с песком, огнетушителей: 22 ОХП-10 и 16 ОУ-5.

На самих же станциях имеется противопожарное водоснабжение в состав входит: наружные и внутренние водопроводные сети, дренажные завесы, разводки углекислоты по бункерам пыли.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" возможный пожар в котельном цеху относится к классу А, В, Е. Пожары твердых горючих веществ и материалов, горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ, материалов электроустановок, находящихся под напряжением.

Необходимо обеспечение первичных средств пожаротушения- пожарный инвентарь, переносные и передвижные огнетушители, пожарные краны и средства обеспечения их использования.

Здания и сооружения должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения такие как: огнетушитель, пожарный кран, пожарный щит, ящик для песка.

## **Вывод по разделу «Социальная ответственность»**

В результате работы над данным разделом были определены меры обеспечения безопасности, которые снизят риски для работника и повысят его работоспособность. Определили, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

В соответствии фактических значений потенциально возможных факторов нормативным значениям, разработаны мероприятия по уменьшению их воздействия на людей и окружающую среду.

По пожаровзрывоопасности и взрывоопасности котельных цех относится к категории «Г» - степень огнестойкости несущих конструкций II степени СП 12.13130- 2009г.

Категория помещений по электробезопасности согласно ПУЭ: II группа - «Помещения с повышенной опасностью».

Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок должна иметь III группу по электробезопасности.

Категорию тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" соответствует IIa категория тяжести труда, это работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения, диапазон температуры воздуха ниже оптимальных величин – 18-19,9°C, выше оптимальных величин – 22,1-27°C.

Данный объект относится II категории – объекты, оказывающие НВОС (негативное воздействие на окружающую среду).

## Заключение

В ходе выполнения работы был рассмотрен проект модернизация системы пылеприготовления котла Е-250-9,8-545 КТ с пылепроводами высокой концентрации под давлением для участия в системе автоматического регулирования котла процессами горения.

В ходе выполнения теплового расчета котла при сжигании каменного угля Борлинского месторождения были рассчитана температура газов на выходе из топki  $\vartheta_T'' = 1149,1^\circ\text{C}$  и уточнена температура уходящих газов  $\vartheta_{yx} = 138^\circ\text{C}$ , определено требуемое количество топлива при номинальной нагрузке котла  $B = 46,002$  т/ч. Результаты теплового расчета приняты для аэродинамического расчета пылепроводов.

В результате аэродинамического расчета пылепроводов системы ПВКд были определены гидравлические сопротивления пылепроводов от смесителей до горелок, для длинных участков №1, 2, 5 и 6 пылепроводов приняты трубы большего диаметра 89х9 мм, для коротких – №3, 4, 7 и 8 трубы 76х7 мм. Определена минимальная высота стабилизатора течи под пылепитателями.

При анализе факторов, влияющих на окружающую среду, были выделены выбросы оксидов азота  $\text{NO}_x$ , условия их образования и существующие технологические мероприятия по их уменьшению. Был выполнен расчет выбросов оксидов азота с учетом примененных технологий, в число которых входит внедрение системы пылеприготовления с ПВКд, применение которой снижает выбросы до 20%. Суммарные выбросы оксидов азота по теоретическому расчету  $M_{\text{NO}_2} = 0,038$  т/ч.

Рассмотрены несомненные преимущества при внедрении ПВКд – простота компоновки котлоагрегата; удешевление компоновки за счет экономии металла, а также снижение затрат на ремонт и замену пылепроводов; уменьшение расхода электроэнергии на собственные нужды; снижение выбросов  $\text{NO}_x$ .

Однако есть и недостатки – снижение устойчивости горения, пульсация и сепарация пыли, устранить которые позволяют технические решения при проектировании и наладке системы ПВКд. Стоит особо отметить условия для устойчивой работы и обеспечения производительности пылепитателей; требования к высоте и конструкции течи; конструкция смесителя и диаметр сопла; длина разгонного участка; длина и уклоны пылепроводов; конструкция горелочных устройств; давление в воздушном коллекторе перед ПВКд.

Применение системы ПВКд с выполнением ряда технологических и конструктивных решений, приводит к улучшению энергоэффективности работы котла Е-250-9,8-545 КТ, а также приводит к снижению выбросов NOx совместно с применением двухступенчатого сжигания топлива.

Был проведен анализ эффективности поддержания режимов работы парогенератора в регулирующем и базовом режиме, влияние на экологические показатели. Рассмотрены вопросы внедрения АСУТП и реализации регулятора тепловой нагрузки. Разработаны разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

Данная выпускная квалификационная работа показала актуальность реализации проекта по модернизации системы пылеприготовления энергетических котлов с пылепроводами высокой концентрации под давлением, которая позволяет совместно с другими мероприятиями уменьшить выбросы оксидов азота NOx, а также улучшить другие показатели энергоэффективности.

## Список использованных источников

- 1 Тепловой расчёт котлов (Нормативный метод). – издание 3-е, перераб. и дополн. – С.-Пб.:НПО ЦКТИ, 1998. – 259 с.: ил.
- 2 Расчет и проектирование пылеприготовительных установок (Нормативные материалы). // Составители: Н.В. Соколов, М.Л. Кисельгоф. – Л.: ЦКТИ, 1971. 310 с.
- 3 Котельные установки и парогенераторы. Тепловой расчет котлов: учебное пособие/ Карякин С.К.; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во ТПУ, 2010.- 156с.
- 4 Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). / Под ред. С.И. Мочана. Л.: Энергия, 1977. 256 с.
- 5 79.00.000 РЭ Котельная установка с котлом Е-250-9,8-545 КТ. Руководство по эксплуатации / ОАО ТКЗ «Красный котельщик»
- 6 Левит Г.Т Пылеприготовление на тепловых электростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 384 с.
- 7 Назмеев Ю.Г. Системы топливоподачи и пылеприготовления ТЭС: Справочное пособие / Ю.Г. Назмеев, Г.Р. Мингалеева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2005. — 480 с.
- 8 Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промпредприятий: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.
- 9 Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике/ Г.П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с
- 10 Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы (Аэродинамический расчет котельных установок): Учебное пособие/ Е.А. Бойко, П.В. Шишмарев, Л.Н. Подборский, Т.И. Охорзина.// - Красноярск: СФУ, 2008. – 71 с.
- 11 Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник / Б.А. Соколов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 432 с.

12 Андык В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС: учеб. / В.С. Андык – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 408 с.

13 Паршуков В.С. Техническое заключение по результатам обследования системы подачи пыли высокой концентрации котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ ст.№3 ТОО «ГРЭС Топар» // В.С. Паршуков, С.В. Беспалов – Екатеринбург, ООО «ОРТЭС» - 2021.

14 Губарев А.В. Теплогенерирующие установки. Часть 1: учебное пособие / А.В. Губарев, Ю.В. Васильченко; под общ.ред. Ю.В. Васильченко. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008.- 162 с.

15 Беспалов В.И. Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие. // В.И. Беспалов, С.У. Беспалова, М.А. Вагнер – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 168 с.

16 Вагнер М.А. Природоохранные технологии в теплоэнергетике: учебное пособие / М.А. Вагнер; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – 361 с.

17 Абрамов А.И. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: учеб. пособие / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др., под ред. А.С. Седлова. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 378 с.

18 ИТС 38-2017 Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям / М.: Бюро НДТ, - 2017.

19 Системы подачи и сжигания пыли высокой концентрации [электронный ресурс]// Режим доступа - Компания СибЭнергоГрупп. URL: <https://www.segrp.ru/innovations/2344341/> (дата обращения 05.05.2023)

20 Кесова Л.А. Опыт эксплуатации и исследование системы пылеподачи с высокой концентрацией пыли при сжигании АШ / Л.А. Кесова, Н.Н. Красноштан, Г.А. Довготелес // Теплоэнергетика. - 1992.-№ 3. -с. 57-60

21 Лузин П.М. Разработка системы пылепитания для мощных паровых котлов ТЭС / П.М. Лузин, А.Г. Яхимович, В.П. Гладков //Тр. НПО ЦКТИ. 1983

22 Иоффе В.М. Применение системы подачи пыли с высокой концентрацией на котлах ПК-40 / В.М. Иоффе, Н.А. Красавин, А.М. Бондарев // Электрические станции. 1984. - №3, с.13-15

23 Загрутдинов Р.Ш. Опыт модернизации устаревшего котельного оборудования с целью повышения их единичной мощности и улучшения технико-экономических и экологических характеристик / Р.Ш. Загрутдинов, А.Н. Нагорнов, Н.А. Нагорнов, С.Н. Шитова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2011, т. 13, №1(2), с.446-451

24 Патент RU 63500 U1 Российская Федерация, МПК F23K 3/02 (2006.01). Система подачи пыли с высокой концентрацией: №2006133489/22: заявл. 18.09.2006 / опубл. 27.05.2007 / Бондарев А.М., Иванова Н.А.

25 Патент RU 2451879 C2 Российская Федерация, МПК F23D 17/00 (2006.01), F23D 1/04 (2006.01), F23C 1/10 (2006.01), F23C 1/12 (2006.01), Горелка для пыли высокой концентрации: №2009101594/06: заявл. 19.01.2009 / опубл. 27.05.2012 Бюл. №15 / Бондарев А.М., Иванова Н.А., Бондарев Д.А.

26 СО 153-34.02.304-2003 Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций. – Взамен РД 34.02.304-95; введ. 01.07.2003. – М.: ОАО ВТИ, ГОУВПО МЭИ, 2003.

27 Модульные Системы Торнадо: официальный сайт. - Новосибирск. //Режим доступа - URL: <https://tornado.nsk.ru/> (дата обращения: 29.05.2023). - Текст: электронный.

28 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 25.02.2022) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (Дата обращения: 29.05.2022).

29 ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834> (Дата обращения: 29.05.2022)

30 Приказ Минздрава РФ от 28.01.2021 n 29н об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры.

31 ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.

32 ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

33 ГОСТ 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

34 Приказ Минтруда РФ от 27.11.2020 N 833Н "Об утверждении Правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования.

35 ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

36 ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

37 Как уменьшить выбросы парниковых газов и снизить угольную зависимость энергетики РК? [электронный ресурс]//Режим доступа URL: <https://ranking.kz/reviews/industries/kak-umenshit-vybrosy-parnikovyyh-gazov-i-snizit-ugolnuyu-zavisimost-energetiki-rk.html>

# Приложение А – Схема автоматизации АСР регулятора тепловой нагрузки

