

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

Инженерная школа энергетики
Отделение/НОЦ: Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова
Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Профиль: Наукоемкие технологии измерений и управления в теплотехнике

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла

УДК 681.51:621.182.2:662.87

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6Д	Чебочакова Диана Анатольевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.01	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистра по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>		
Р1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>		
Р2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического оборудования, средств автоматизации и защиты	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в области теплоэнергетики и теплотехники, автоматизированных систем управления технологическими процессами в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>		
Р4	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<i>организационно-управленческая деятельность:</i>		
P5	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, в том числе по осуществлению надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию установок, систем и оборудования	Требования ФГОС ((ОК-2, ПК-8, ПК-10), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения	Требования ФГОС (ПК-9), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>педагогическая деятельность:</i>		
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-11), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Универсальные компетенции		
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Требования ФГОС (ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Требования ФГОС (ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа энергетики
Отделение/НОЦ: Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова
Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Профиль: Наукоемкие технологии измерений и управления в теплотехнике

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель профиля ООП
Стрижак П.А.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ6Д	Чебочаковой Диане Анатольевне

Тема работы:

Автоматизированная система контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла

Утверждена приказом директора (дата, номер)

01.02.2018, № 570/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Процесс безмазутной растопки пылеугольного котла типа БКЗ-420-140. При разработке автоматизированной системы контроля и управления процессом безмазутной растопки котла предусмотреть использование современных микропроцессорных технических средств автоматизации для реализации функций автоматического контроля параметров и управления системой.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1) Анализ современных методов исследования процессов зажигания и горения угольного топлива.2) Разработка экспериментального стенда и методики исследования закономерностей процессов зажигания и горения твердого натурального топлива.3) Проведение экспериментов по изучению процессов зажигания и горения угольного топлива.4) Анализ результатов исследования и формулирование теоретических следствий.5) Разработка рекомендаций по применению результатов

	<p>исследования на практике.</p> <p>6) Описание объекта автоматизации.</p> <p>7) Разработка структурной схемы автоматизированной системы управления.</p> <p>8) Разработка функциональной схемы автоматизированной системы управления.</p> <p>9) Составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации.</p> <p>10) Разработка принципиальной электрической схемы щита управления.</p> <p>11) Разработка общего вида щита управления.</p> <p>12) Разработка SCADA-системы.</p> <p>13) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>14) Социальная ответственность.</p>
Перечень графического материала	<p>1) Схема структурная.</p> <p>2) Схема функциональная.</p> <p>3) Схема электрических соединений щита управления.</p> <p>4) Схема общего вида щита управления.</p>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна, ст. преподаватель ОСГН
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович, к.т.н., доцент ОКД
Английский язык	Исакова Юлия Ивановна, к.т.н., доцент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Анализ современных методов исследования процессов зажигания и горения в топке котельных агрегатов	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6Д	Чебочакова Диана Анатольевна		

Реферат

Магистерская диссертационная работа 133 с., 29 рис., 25 табл., источников, 3 прил.

Ключевые слова: пылеугольное топливо, паровой котел, безмазутная растопка, микропроцессорный контроллер, автоматизированная система управления и контроля, зажигание, время задержки зажигания.

Объектом автоматизации является система управления технологическим процессом безмазутной растопки пылеугольного парового котла типа БКЗ-420-140.

Цель работы – на основании результатов экспериментального исследования закономерностей процессов зажигания и горения пылеугольного топлива разработать автоматизированную систему контроля и управления процессом растопки котельного агрегата и обосновать технико-экономическую эффективность безмазутной растопки парового котла.

В процессе экспериментальных исследований были установлены минимальные значения температуры окружающей среды и времена задержки зажигания, при которых устойчиво воспламеняется высокорекреакционное твердое натуральное топливо.

Исследования были выполнены в условиях лучистого нагрева угольной пыли (дисперсность частиц 40–250 мкм) в муфельной печи. Такие условия аналогичны условиям зажигания угольной пыли в муфельных горелках, применяемых при реализации технологии безмазутной растопки пылеугольных котлов.

Экспериментальное исследование процессов зажигания частиц выполнено в широком диапазоне варьирования температуры окружающей среды для угольной пыли разной дисперсности: 40; 140; 250 мкм. Полученные результаты применимы для прогнозирования условий и характеристик зажигания угольной пыли, а также для обоснования

габаритных размеров муфельных горелок при проведении опытно-конструкторских работ.

Система безмазутной растопки пылеугольного котла обеспечивает непрерывное автоматизированное управление и контроль всем технологическим оборудованием, входящим в данную систему, а также информационные функции (своевременная, достоверная информация о ходе технологического процесса и состоянии оборудования). В результате процесса разработки осуществлен выбор структурной схемы АСУ ТП безмазутной растопки котла, технических средств автоматизации, разработка функциональной схемы АСУ ТП, принципиальной электрической схемы и разработка SCADA-системы. Также проведена оценка экономической эффективности реализации проекта.

Список сокращений и обозначений

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ПДВ – предельно-допустимые выбросы;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПО – программное обеспечение;

РОВ – расход общего воздуха;

РВП – регенеративный воздухоподогреватель;

ТЭП – термоэлектрический преобразователь;

ТЭС – тепловая электростанция;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ЭТХПТ – электротермохимическая подготовка топлива;

$D_{ном}$ – нагрузка котла;

T_g – температура газов (продуктов сгорания), К;

РСС – Phantom Camera Control;

V_g – скорость движения газов (продуктов сгорания), м/с;

t_d – время задержки зажигания, с;

τ_c – время полного сгорания, с.

Оглавление

Введение.....	11
1 Анализ современных методов исследования процессов зажигания и горения в топке котельных агрегатов	13
2 Экспериментальный стенд и методика экспериментального исследования	21
3 Анализ результатов экспериментов	28
4 Описание объекта автоматизации	38
5 Разработка структурной схемы АСУ ТП горения в топке котла	46
6 Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации	49
6.1 Разработка функциональной схемы	49
6.2 Выбор оборудования нижнего уровня автоматизации.....	53
6.2.1 Выбор датчиков температуры.....	53
6.2.2 Выбор датчиков давления-разрежения	54
6.2.3 Выбор расходомеров.....	56
6.2.4 Выбор газоанализатора.....	58
6.2.5 Выбор преобразователя частоты	60
6.2.6 Выбор контроллера	61
6.3 Составление заказной спецификации.....	64
7 Разработка принципиальной электрической схемы соединений шкафа управления	65
8 Разработка общего вида шкафа управления.....	68
9 Разработка SCADA-системы.....	70
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	73
11 Социальная ответственность	96
11.1 Производственная безопасность.....	99
11.2 Экологическая безопасность	104
11.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	106
11.4 Организационные вопросы обеспечения безопасности	109
Заключение	112
Список использованных источников	114
ПРИЛОЖЕНИЕ А.Experimental study on ignition characteristics of pulverized coal under high – temperature oxidizer conditions.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Заказная спецификация приборов и средств автоматизации.....	141

ПРИЛОЖЕНИЕ В Перечень элементов принципиальной электрической схемы соединений	143
--	-----

Графический материал:	На отдельных листах
ФЮРА.421000.006 С1 Схема структурная	
ФЮРА.421000.006 С2 Схема функциональная	
ФЮРА.421000.006 Э3 Схема электрических соединений шкафа управления	
ФЮРА.421000.006 В0 Общий вид шкафа управления	

Введение

Большинство теплоэлектростанций (ТЭС) России, преимущественно в промышленных городах, по отпуску тепловой и электрической энергии привязаны к конкретному потребителю [1]. Это могут быть заводы, фабрики, комбинаты, для нужд которых проектировались и строились ТЭС.

В настоящее время ввиду небольших объемов производства и падения потребления технологического пара, в теплый сезон почти все теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) работают с низкой нагрузкой тепловых сетей и малыми производственными отборами пара. Все это приводит к переходу работы станции из теплофикационного в конденсационный режим, который объясняет снижение КПД цикла теплоэлектростанции, повышается стоимость выработки энергии, следовательно, увеличиваются цены для конечного потребителя и рынка.

ТЭЦ необходимо всегда поддерживать высокую надежность обеспечения паром потребителя, так как на промышленных объектах осуществляются сложные технологические процессы. Это является причиной работы станции в летний период как минимум с двумя котельными агрегатами и паровыми турбинами. Пылеугольные паровые котлы по условиям стабильности процесса горения топлива, надежности циркуляции пароводяной смеси, а также нормальному водно-химическому режиму очень редко способны работать длительно на нагрузке менее $0,5D_{ном}$. Необходимость понижения нагрузки часто сводится к использованию в качестве подсветки жидкого топлива, как мазут, что позволяет снять упомянутые ограничения и, следовательно, снизить нагрузку до $0,3D_{ном}$, которая традиционно считается техническим минимумом пылеугольного парового котельного агрегата при работе на мазуте [2, 3].

Применение мазута характеризуется проблемами технического характера, связанными с безопасной работой поверхностей нагрева и экологическими показателями, которые связаны с увеличением содержания

оксидов серы и азота в дымовых газах. Сжигание сернистых и высокосернистых мазутов приводит к низкотемпературной коррозии хвостовых поверхностей нагрева, что и приводит к снижению КПД котлоагрегата, повышению расхода дымовых газов через дымосос. К тому же, мазут – дорогостоящее топливо (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Объемы и цены поставки топлива на ТЭС России

Показатели	Мазут	Уголь
Объемы поставки топлива на ТЭС России (январь – июнь 2016 г.)	2708,702 тыс. т	58,355 млн. т
Средние цены поставки топлива на ТЭС России (январь – июнь 2016 г.)	5991 руб./т	1320 руб./т
Суммарные запасы топлива на объектах электроэнергетики (01.08.2016 г.)	3,1 млн. т	14,6 млн. т

Процесс сжигания мазута позволяет поддерживать установленную температуру факела в топке котла, но химические условия сжигания угля при этом резко ухудшаются. Совместное сжигание двух различных видов топлива в одной топочной камере приводит к негативным последствиям [4]:

- 1) неполное сгорание твердого топлива (10–15 % механического недожога угля);
- 2) снижение надежности работы парового котла;
- 3) быстрый износ оборудования;
- 4) экологические проблемы.

Указанные негативные технологические проблемы, высокая стоимость мазута приводят к необходимости сокращения их потребления станциями, и обеспечение максимально возможного использование твердого топлива. Поэтому совместное сжигание мазута и угля считается крайне неблагоприятным режимом работы котлов станций.

Все это заставляет задуматься о переходе с жидкого топлива (мазута) при розжиге на эквивалентное по тепловыделению пылеугольное топливо.

1 Анализ современных методов исследования процессов зажигания и горения в топке котельных агрегатов

В теплоэнергетике растопка пылеугольных котлоагрегатов и подсветка факела при стабилизации процесса горения, в случае изменения характеристик сжигаемого топлива или при снижении нагрузки производится включением растопочных мазутных горелок. Они достаточно просты и удобны в эксплуатации, также применение этих горелок позволяет автоматизировать технологический процесс. Однако такой способ стабилизации процесса горения характеризуется достаточно большим расходом дефицитного и дорогостоящего мазута [5–10].

Ведь на многих станциях, сжигающих уголь, почти всегда хранится нормативный запас мазута, который и обеспечивает потребность на растопки, подсветку и прочие нужды [11].

Использование мазута при существующей системе его хранения, приема и распределения, кроме расходов на покупку данного топлива требует также и затрат на:

- 1) разогрев мазута (поддержание температуры);
- 2) постоянную прокачку, обеспечивающую проходимость рециркуляционных петель и осреднение свойств мазута по хранилищу.

Ввиду наличия запаса мазутная система розжига и подсветки самодостаточна и не нуждается в резервировании. Речь может идти о разработке новой альтернативной системы, которая обладает определенными преимуществами, например, наряду с пониженными расходами на сжигаемое топливо, также минимальными затратами на поддержание системы в рабочем состоянии как в процессе функционирования, так и в процессе оперативной готовности [12].

Достаточно интенсивно в настоящее время внедряются и осваиваются такие плазменно-энергетические технологии топливоиспользования [13–15], как безмазутная растопка котла, подсветка пылеугольного факела,

стабилизация выхода шлака в топочных камерах с жидким шлакоудалением, термохимическая подготовка твердых топлив к сжиганию, аллотермическая (плазменно-паровая) газификация углей и комплексная переработка углей.

Плазменный розжиг низкосортных углей проводят после предварительной электротермохимической (ЭТХПТ) подготовки пылеугольного топлива [16].

В основе такого метода воспламенения факела лежит ЭТХПТ, заключающейся в нагреве части аэросмеси электродуговой плазмой. Нагрев производится до температуры частичной газификации коксового остатка, также до температуры полного выхода летучих веществ [17]. При смешении электродуговой плазмы с пылеугольным потоком частицы угля испытывают тепловой удар, который приводит к их дроблению и, следовательно, быстрому нагреву частиц. Напряжение на дуге плазмотрона регулируется и поддерживается в заданных пределах автоматическим варьированием расхода воздуха, образующего плазму. Такого рода системы [13–15] положительно зарекомендовали себя при их эксплуатации на станциях и их очевидная экономичность по сравнению с мазутным розжигом не подвергается сомнению. Но потребляемая электрическая мощность и невысокий ресурс (порядка сотен часов) плазменных генераторов не позволяют пока рассматривать данные системы в качестве альтернативы полной мазутной системы розжига котла.

Способными конкурировать с мазутной системой розжига в роли источника тепла, необходимого для выведения топки котельного агрегата в рабочий режим, являются системы, которые обеспечивают выработку большего количества тепла с помощью сжигания угольного топлива [18].

Большое количество работ посвящено трехступенчатому сжиганию топлива [19–21] в топках котлоагрегатов. При таком методе сжигания пылеугольного топлива в топке котла организуются три зоны сжигания, которые предназначены для снижения концентрации NO_x в дымовых газах.

Метод многостадийного сжигания достаточно подробно описан авторами [22]. Этот метод включает в себя внутривихревую термическую подготовку с последующей организацией концентрического сжигания, позволяющего значительно понизить образование оксидов азота и при этом существенно повысить экономичность и надежность работы котельных агрегатов современных ТЭС.

В [23] рассматривается рационализированная программа расчета теплообмена в топочных объемах котлов, которая позволяет рассчитать температуру газов в топке, тепловые потоки на стенках топочной камеры. Полученные данные сравнивались с опытными данными испытаний работающих топок [24], таким образом, проверялась работа программы на правильность.

Основные технические решения по организации ступенчатого сжигания кузнецких углей приведены в [25]. С помощью этих решений достигаются удельные выбросы оксидов азота ниже нормативов без реализации дорогостоящих мероприятий по азотоочистке дымовых газов и существенному снижению горючих в летучих золах. Важным принципом оптимизации является увеличение интенсивности омывания свежих горелочных струй тангенциальным потоком топочных газов для обеспечения раннего прогрева и зажигания угольной пыли [26].

Также механохимическая активация минеральных веществ является одним из новых методов интенсификации технологических процессов. Сущность метода активации состоит в механических воздействиях на минеральные и органические вещества, которые превосходят по величине энергию, необходимую для разрыва связей между частицами при диспергировании и разрушении веществ [27–29]. Экспериментально обосновано повышение реакционной способности углей как топлива. Но при этом увеличивается энергозатратность, понижается энергия активации и расход мазута.

Одним из вариантов обсужденного решения может выступить технология предварительной термической подготовки углей в термоциклонных предтопках (ТЦП) [30]. Данная технология позволяет обеспечить снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду, также повысить КПД топочной камеры котлоагрегата. Поток низкорекреационного топлива в виде угольной пыли, проходящий через цилиндрические предтопки, образует устойчивый вихрь, который обтекает по спирали внутреннюю стенку цилиндра. В центральную часть предтопка вводится поток высокорекреационного топлива и воздуха, расход должен быть достаточным для сжигания иницирующего топлива.

В [31] обосновывают преимущества совместного сжигания биомасс с углями в пылеугольных энергетических котлах.

К биомассам обычно относят древесные материалы, отходы лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, сельскохозяйственные органические отходы растениеводства и животноводства и сельскохозяйственных перерабатывающих отраслей промышленности. Изучение размола, выгорания, шлакующих свойств и газообразных выбросов выполнены на огневом стенде УралВТИ [32]. Тепловая мощность стенда $N = 0,23$ МВт, расход твердого топлива до 50 кг/ч. Смеси челябинского угля с биомассой готовились путем смешивания подсушенных проб топлива в необходимой пропорции до их загрузки в дробилку перед бункером угля.

В статье [33] представлены результаты исследования топочных процессов в топке котельного агрегата типа БКЗ-420-140 (Омская ТЭЦ-4) при процессе сжигания проектного угольного топлива (Экибастузский уголь) и замещающих его углей Кузнецкого, Ирша-Бородинского месторождений, на основе математических моделей прикладного программного пакета FIRE 3D. Авторы проанализировали полученные результаты в трехмерной интерпретации применительно к каждому виду энергоносителя, а также было произведено сравнения этих данных с нормативными расчетами.

Но нужно отметить, что при сжигании непроектных и проектных углей плохого качества, шлама и промпродукта угольных обогатительных фабрик [34] ухудшаются экологические показатели работы котельных агрегатов и возрастает количество горючих в золошлаках, также постепенно снижается надежность работы котлоагрегатов в связи с ростом вероятности шлакования топочной камеры при пониженных нагрузках. К тому же, строительство и эксплуатация установок очистки газов от вредных веществ является дорогостоящим мероприятием.

В данной работе [35] представлены принципиальные схемы по термоподготовке бурых углей, а также высокорреакционных каменных углей для организации процесса безмазутной растопки и подсветки факела в топках котельных агрегатов современных ТЭС. На рисунке 1.1 представлена принципиальная схема безмазутного розжига с электрозапальным устройством резисторного типа.

Рециркуляция газов в области расположения горелок не только усредняет температуры по сечению топочной камеры котла, но и увеличивает теплосъем с экранов [36]. Заметно улучшается воспламенение топлива и стабилизируется процесс горения. Данное резисторное запальное устройство является самым простым из всех существующих конструкций и безопасным, не требует изоляции.

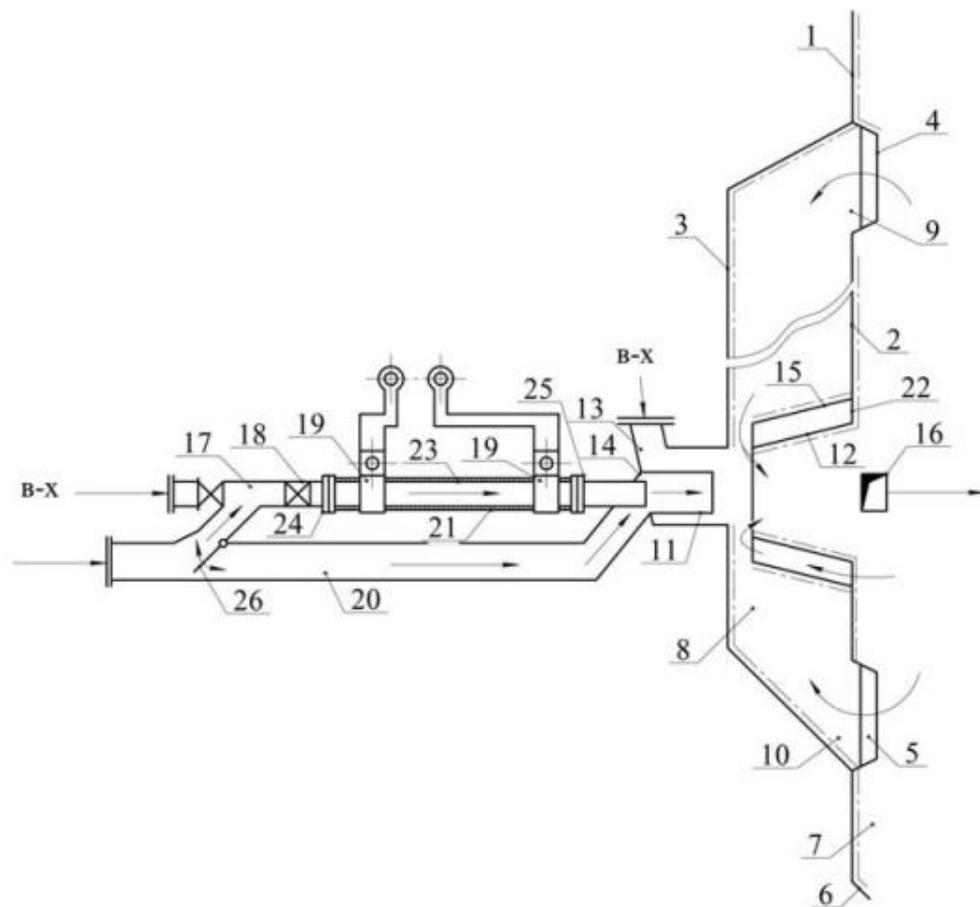


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема безмазутной растопки с электрозапальным устройством резисторного типа: 1 – топочная камера; 2, 3 – экраны; 4, 5 – верхний и нижний фестоны; 6 – холодная воронка; 7, 8 – камеры сгорания; 9, 10 – перепускные окна; 11 – горелочное устройство; 12 – циркуляционные трубы; 13 – вторичный воздух; 14 – растопочные горелки; 15 – насадок; 16 – сопла третичного дутья; 17 – пылепровод; 18 – завихритель; 19 – хомут; 20 – пылепровод; 21 – шибер; 22 – перепускные окна; 23 – запальное устройство; 24 – фланцы [35]

На котлоагрегате типа БКЗ-420-140 (Красноярская ТЭЦ-2) была внедрена система безмазутной растопки с использованием электрозапального устройства резисторного типа [37]. Горелки такого вида состоят из корпуса, куда подается пылевоздушная смесь и муфельной части, в которой происходит воспламенение летучих веществ (рис. 1.2).

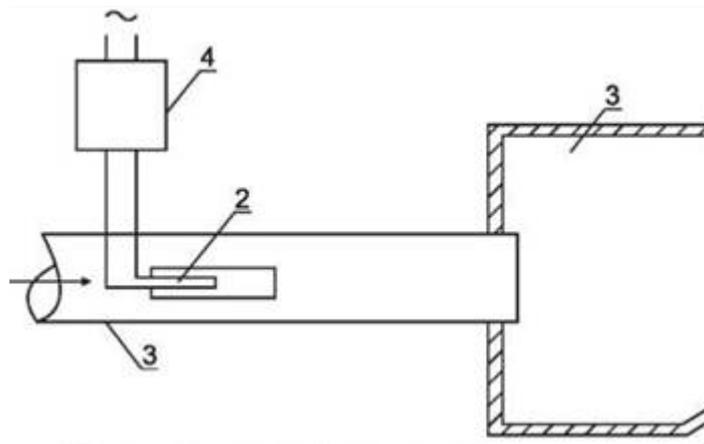


Рисунок 1.2 – Схема растопочной муфельной горелки с для котлов БКЗ–420 Красноярской ТЭЦ-2: 1 – муфель; 2 – запально-сигнальное устройство; 3 – трубопровод, подводящий пылевоздушную смесь; 4 – трансформатор напряжения

По мнению разработчиков [38] модернизированное электрозапальное устройство должно позволить значительно уменьшить время нагрева нихромового запальника, следовательно, ускорить воспламенение пылеугольного топлива. Простота конструкции горелок позволяет значительно уменьшить затраты на монтажные работы.

Однако низкая температура и малое время пребывания пылеугольного топлива в зоне термической обработки не могут обеспечить полный выход летучих и зажигания коксовой основы. Воспламенение происходит в топочной камере, следовательно, процесс горения сильно затягивается, это уменьшает скорость растопки котла, а в некоторых случаях даже увеличивается выше допустимого значения температура газов в области пароперегревателя.

В последние годы было ужесточено законоположение [39] об охране окружающей среды. Для котлов, которые работают на угле и мазуте, требуется уменьшить концентрацию вредных веществ в уходящих газах.

Большинство потребителей скоро будут использовать низкосортный уголь, характеризующийся богатым содержанием влаги, золы и достаточно низкой теплотворной способностью. Среди всех известных низкосортных

углей найден уголь с высоким влагосодержанием, например бурый уголь. Большое содержание летучих веществ вызывает спонтанное воспламенение в процессе хранения и в процессе измельчения. Это по сравнению с каменным углем вызывает трудности при обработке.

Вариантом, ориентирующимся на сжигание угля системы безмазутной растопки парового котла, является организация сжигания в муфельных горелках угольной пыли особо мелкого помола, получаемой в специальных мельницах. Такой метод широко применяется в зарубежной практике, позволяет существенно уменьшить тепловую мощность используемых электровоспламенителей.

Актуальной задачей является дальнейший отказ от использования мазута для розжига котлов, т.е. предлагается осуществлять перевод на угольное топливо ультратонкого помола. Экономический эффект от перевода мазутных котельных на пылеугольное топливо будет обусловлен снижением стоимости топлива. Кроме того, от перевода котлов на пылеугольное топливо можно ожидать и экологический эффект за счет снижения выбросов оксидов серы, что, соответственно, приведет к снижению платы за выбросы.

2 Экспериментальный стенд и методика экспериментального исследования

Экспериментальные исследования зажигания образцов угольной пыли ультратонкого помола (табл. 2.1 и 2.2) проведено с использованием экспериментальных стендов (рис. 2.1, 2.2) [40, 41].

Крупные частицы угля размером 3–5 мм измельчали в роторной мельнице Pulverisette. После измельчения угольную пыль просеивали с помощью лабораторного сита. Характеристики сита: 200 колебаний в минуту и размах колебаний 50 мм. Для разделения угля на образцы разной дисперсности использовался набор сит по ISO 3310-1:2000: 40 мкм; 140 мкм; 250 мкм. Размер частиц влияет на интенсивность их прогрева, поэтому разная дисперсность позволила установить влияние этого фактора на основную характеристику процесса – время задержки зажигания.

Таблица 2.1 – Характеристики углей

Образец	W^a , %	A^d , %	V^{daf} , %	$Q_{s,}^a$, МДж/кг
1	2	3	4	5
Бурый уголь марки “Б1”, “Таловское” месторождение Томской области	10,15	22,84	61,47	17,30
Древесный уголь, полученный путем пиролиза древесины	0,05	1,49	22,6	29,61
Бурый уголь марки “Б3”, разрез “Балахтинский” Красноярского края	15,52	3,85	46,62	23,36
Бурый уголь марки “2БР”, разрез “Березовский-1” Красноярского края	32,7	8,4	48	16,24
Каменный уголь марки “Д”, Листвянское месторождение Новосибирской области	10,09	8,52	40,19	24,82
Каменный уголь марки “Т”, разрез “Калтанский” Кемеровской области	2,89	18,07	15,07	27,65

Таблица 2.2 – Элементный состав углей

Образец	C^{daf} , %	H^{daf} , %	N^{daf} , %	S^{daf} , %	O^{daf} , %
1	2	3	4	5	6
Бурый уголь марки “Б1”, “Таловское” месторождение Томской области	64,86	6,896	0,62	0,384	27,13
Древесный уголь, полученный путем пиролиза древесины	84,9	3,1	$\Sigma=13$		
Бурый уголь марки “Б3”, разрез “Балахтинский” Красноярского края	74,52	7,201	0,71	0,304	17,25

Таблица 2.2 – Элементный состав углей (продолжение)

1	2	3	4	5	6
Бурый уголь марки “2БР”, разрез “Березовский-1” Красноярского края	70,2	4,6	1,1	0,28	23,8
Каменный уголь марки “Д”, Листвянское месторождение Новосибирской области	77,46	6,253	2,27	0,347	13,64
Каменный уголь марки “Т”, разрез “Калтанский” Кемеровской области	87,97	4,104	2,23	0,526	5,03

Принцип действия экспериментального стенда (рис. 2.1) основан на взаимодействии мелкодисперсных частиц угольной пыли с потоком разогретого воздуха. Воспламенение угольной пыли инициировалось при ее движении в полости цилиндра из кварцевого стекла (длина 1 м, диаметр 0,1 м). Параметры потока разогретого воздуха в цилиндре регулируются в достаточно широком диапазоне ($T_g=25-600$ °С, $V_g=1-5$ м/с).

Изменение режимов функционирования нагнетателем воздуха и воздухонагревателем осуществлялось при помощи пульта управления. Варьирование режимов работы экспериментального стенда позволяет устанавливать не только предельные (минимальные) параметры окислителя, необходимые для зажигания угольной пыли, но и аппроксимационные зависимости основной интегральной характеристики процесса – времени задержки зажигания (t_d) от параметров разогретого воздуха (T_g).

Ввод мелкодисперсных частиц угля в цилиндр осуществлялся через одно из трех технологических отверстий, которые расположены вдоль оси симметрии, при помощи специального устройства подачи, закрепленного на передвижной платформе автоматизированного координатного механизма. А электрическое питание координатного механизма обеспечивалось источником типа БП10–23.

Алгоритм определения момента зажигания соответствовал методике [42]. Систематические погрешности определения времен задержки зажигания t_d не превышали 3 %.

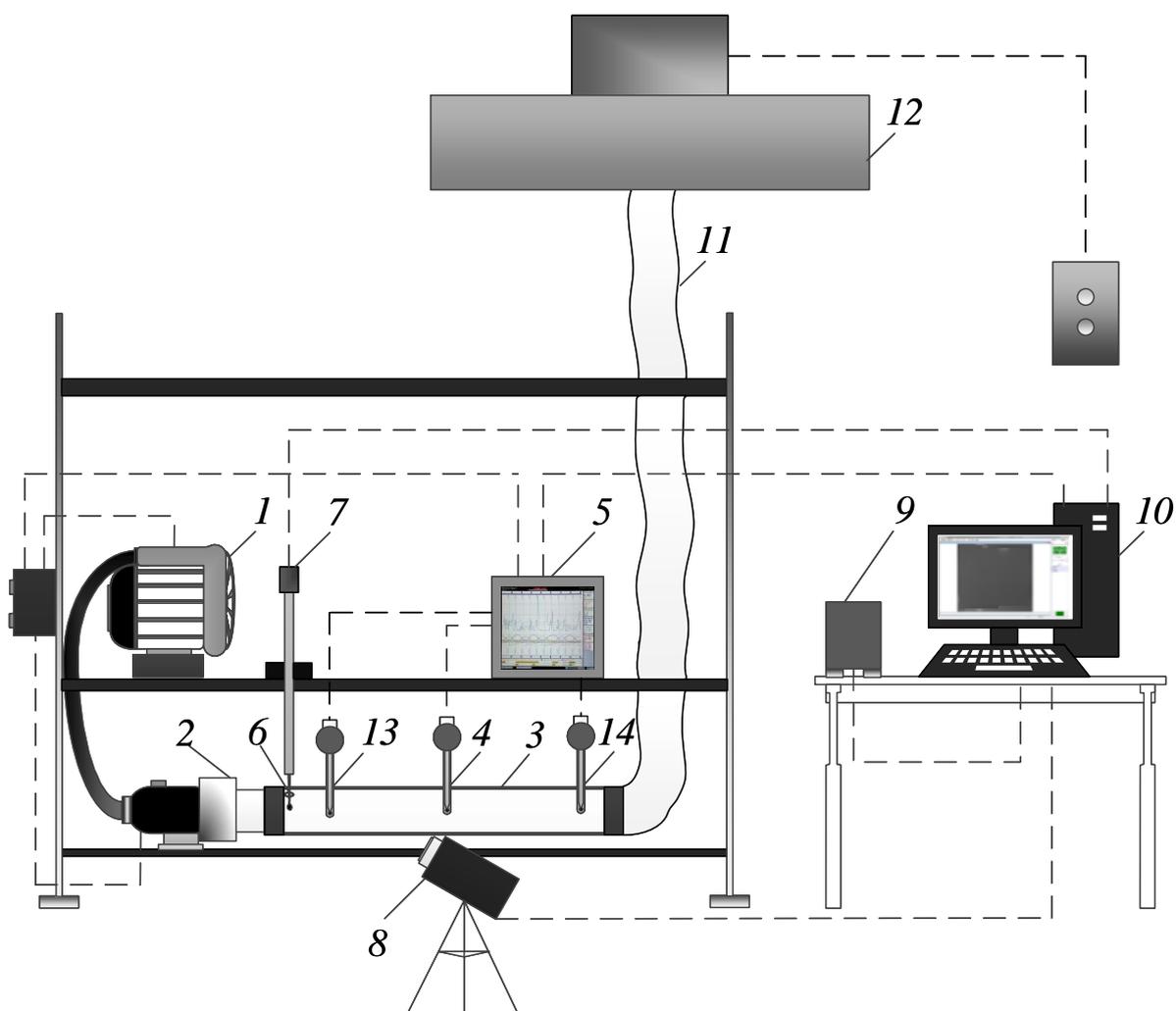


Рисунок 2.1 – Схема экспериментального стенда: 1 – вентилятор высокого давления; 2 – воздухонагреватель; 3 – полый стеклянный цилиндр; 4, 13, 14 – термоэлектрические преобразователи; 5 – регистратор; 6 – устройство подачи угольной пыли; 7 – координатный механизм; 8 – высокоскоростная видеокамера; 9 – аналитические весы; 10 – компьютер; 11 – воздуховод; 12 – вытяжная вентиляция

Принцип работы стенда (рис. 2.1) заключался в следующем. Нагнетатель высокого давления 1 (мощность 0,25 кВт, расход газа не более 1200 м³/мин) подавал воздух с температурой окружающей среды (около 23 °С) на вход воздухонагревателя 2 (технические характеристики представлены в табл. 2.3). Нагрев воздуха осуществлялся до заданной температуры, контролируемой термоэлектрическими преобразователями

(ТЭП) 4, 13, 14 с номинальной статической характеристикой хромель-алюмель (диапазон измеряемых температур 0–1100 °С, систематическая погрешность ± 3 °С) в трех равноудаленных точках. Поток воздуха с заданными параметрами подавался в полый стеклянный цилиндр 3. Канал 3 имеет три отверстия диаметром 10 мм каждое, расположенные вдоль оси симметрии на расстоянии 0,4 м друг от друга. Посредством термоэлектрических преобразователей 4, 13, 14 и регистратора 5 контролировалась температура потока разогретого воздуха вдоль канала 3. Для подачи угольной пыли в канал 3 использовалось специальное устройство 6 (полый керамический цилиндр), перемещаемое автоматизированным координатным механизмом 7. Видеорегистрация быстропротекающих процессов в канале 3 в течение индукционного периода осуществлялась высокоскоростной видеокамерой (частота съемки до $6 \cdot 10^5$ кадров в секунду) 8. Обработка видеозаписи проводилась при помощи специализированного программного обеспечения Phantom Camera Control (PCC) на персональном компьютере 10. Контроль массы навески угольной пыли осуществлялся аналитическими весами 9 (предел допускаемой погрешности $\pm 0,05$ мг, дискретность измерения 0,01 мг). Посредством газохода 11 и вытяжной вентиляции 12 газообразные продукты термического разложения и окисления угля удалялись с потоком воздуха из канала 3 в атмосферу.

Таблица 2.3 – Технические характеристики воздухонагревателя LE 5000

Технические характеристики	Без электроники
Напряжение, В	3×400
Мощность, кВт	11
Минимальный расход воздуха, л/мин.	1000
Максимальная температура на входе, °С	80
Максимальная температура на выходе, °С	600

Процессы, протекающие в течение индукционного периода, регистрировались высокоскоростной монохромной видеокамерой Miro M310 (скорость съемки более 3000 кадров в секунду при полном разрешении 1280×800 пикселей).

Для получения средних значений основной характеристики исследуемого процесса – времени задержки зажигания (t_d) проводились серии экспериментов при установленных значениях температуры (T_g) разогретого воздуха. С уменьшением T_g разброс полученных экспериментальных значений увеличивалось. Следовательно, число опытов при фиксированном значении температуры составляло от 5 до 8. Время задержки зажигания определялось при обработке высокоскоростной видеозаписи программным обеспечением PСС. Значение данной характеристики – это временной интервал от момента начала взаимодействия мелкодисперсных частиц угольной пыли с потоком разогретого воздуха до момента их зажигания.

Плавная регулировка температуры (T_g) разогретого воздуха воздушнонагревателем типа LE 5000 осуществляется только до 600 °С. Серии экспериментов зажигания угольной пыли с температурой среды выше 600 °С проводились на втором экспериментальном стенде с трубчатой муфельной печью (рис. 2.2).

На рисунке 2.2 изображена схема второго стенда, основной частью которого является трубчатая муфельная печь Nabertherm R 50/250/13 1. Внутренний диаметр 40 мм и длина керамической трубки 450 мм, диапазон варьирования температуры 20–1200 °С, контроль температуры осуществляется встроенной термопарой типа ТПП. В каждой серии экспериментов керамическая трубка нагревалась до заданной температуры.

Керамический держатель 2 с угольной пылью вводился в муфельную печь при помощи координатного механизма 3 и фиксировался в центральной части трубки. Скорость перемещения координатного механизма составляла около 0,5 м/с. Процесс воспламенения мелкодисперсных частиц угля в

муфельной печи регистрировался высокоскоростной камерой 4. Основные характеристики камеры Phantom V411: скорость съемки до $6 \cdot 10^5$ кадров в секунду, максимальное разрешение 1280×1280 пикселей, тип съемки – цветная.

На персональном компьютере 6 выполнялось при помощи программного обеспечения ПСС сохранение и обработка видеозаписи. В момент ввода частиц угольной пыли в муфельную печь начиналась видеорегистрация процесса. Время задержки зажигания определялось по видеозаписи и отсчитывалось до момента появления пламени. Также при повышении температуры среды, уменьшается время задержки зажигания угольной пыли.

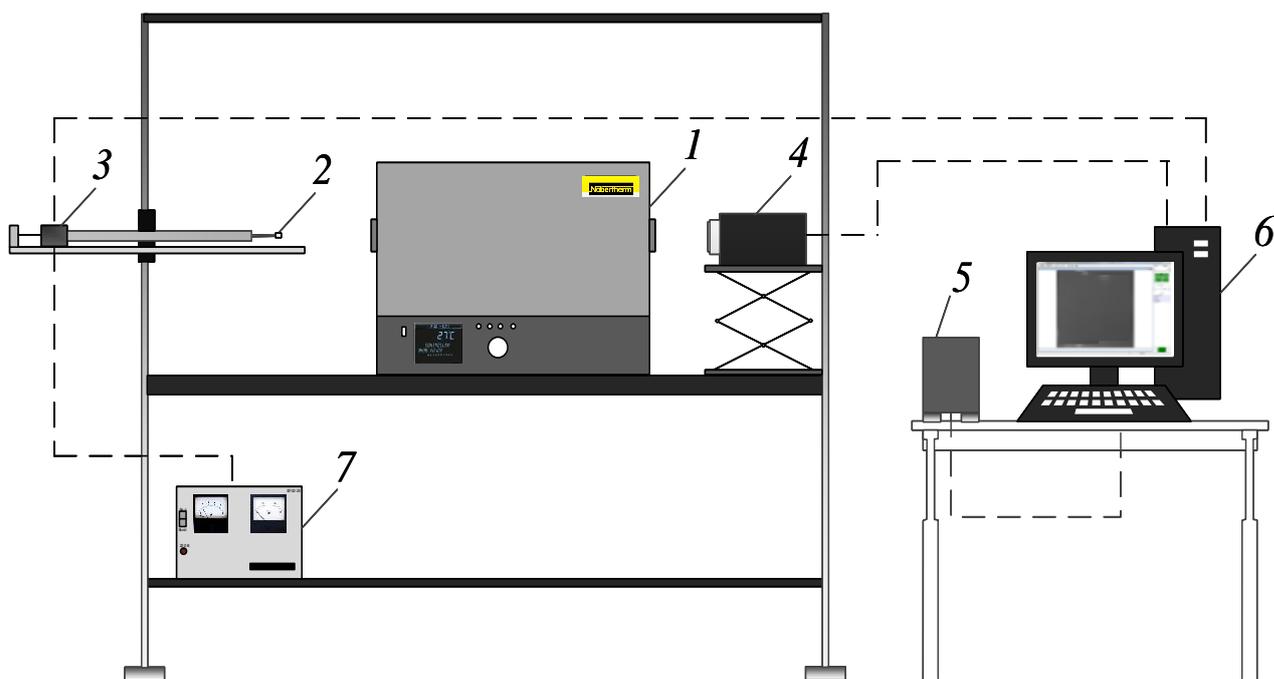


Рисунок 2.2 – Схема экспериментального стенда: 1 – муфельная печь; 2 – устройство подачи мелкодисперсного угольного топлива; 3 – координатный механизм; 4 – видеокамера; 5 – аналитические весы; 6 – компьютер; 7 – блок питания

Также для вычисления усредненного значения основной характеристики исследуемого процесса, т.е. времени задержки зажигания (t_d)

проводились серии экспериментов при фиксированных значениях температуры (T_g).

Случайные погрешности для серий из 5–7 экспериментов, проведенных при идентичных условиях, составляли менее 10 %.

3 Анализ результатов экспериментов

На рис. 3.1–3.5 представлены экспериментальные зависимости времени задержки зажигания угольной пыли от температуры потока разогретого воздуха.

Температура окислителя может варьироваться в достаточно широком диапазоне от 20–1200 °С. Изменение режимов работы стендов позволяет устанавливать не только минимальные параметры окислителя, которые необходимы и достаточны для зажигания угольной пыли, но и аппроксимационные зависимости основной интегральной характеристики – времени задержки зажигания t_d от параметров источника энергии.

Для частиц разной дисперсности и разных марок угольной пыли характерно количественное отличие времен задержки зажигания. Каменные и бурые угли широко используются в качестве топлива на ТЭС, расположенных на территории России и за ее пределами. Это объясняет выбор в качестве объектов исследования конкретных марок углей применительно к реализации технологии безмазутной растопки пылеугольных котлов. Более подробный анализ влияния температуры окислителя на характеристики зажигания угля будет выполнен далее.

Рис. 3.1 иллюстрирует предельные условия ($T_g = 500$ °С) устойчивого пламенного зажигания бурого угля марки “Б1” Таловского месторождения Томской области, дисперсностью 40–250 мкм при взаимодействии с потоком разогретого воздуха. Зависимость $t_d = f(T_g)$ согласно теории химической кинетики [51] носит экспоненциальный характер.

При меньших значениях температуры процесс зажигания угольной пыли являлся неустойчивым, то есть процесс воспламенения частиц происходило не в каждом эксперименте в серии при фиксированном значении T_g .

С увеличением температуры времена задержки зажигания уменьшаются, а также начинается интенсивное термическое разложение угля с выделением летучих компонентов.

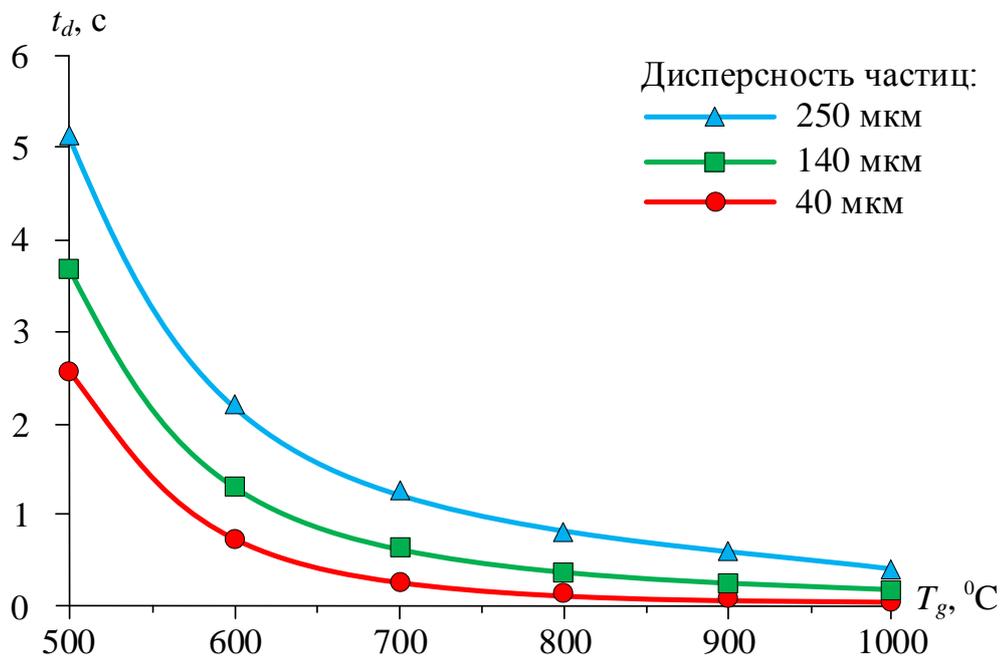


Рисунок 3.1 – Зависимость времени задержки зажигания угольной пыли марки Б1 Таловского месторождения от температуры воздуха

В зависимости от размера частиц угольной пыли их температура либо близка к температуре потока разогретого воздуха, либо отстает от нее. При малых значениях дисперсности угля площадь поверхности частиц на единицу их массы большая. Они быстро прогреваются и при повышении температуры окислителя, на поверхности частиц инициируется гетерогенная реакция.

На рис. 3.2 представлены зависимости времени задержки зажигания от температуры воздуха для частиц древесного угля, различной размерности (40 мкм; 140 мкм; 250 мкм)

Мелкие частицы (40 мкм) в зоне прогрева прогреваются быстро. Зависимость $t_d=f(T_g)$ также имеет экспоненциальный характер и

иллюстрирует предельные условия зажигания угольной пыли в условиях конвективного нагрева.

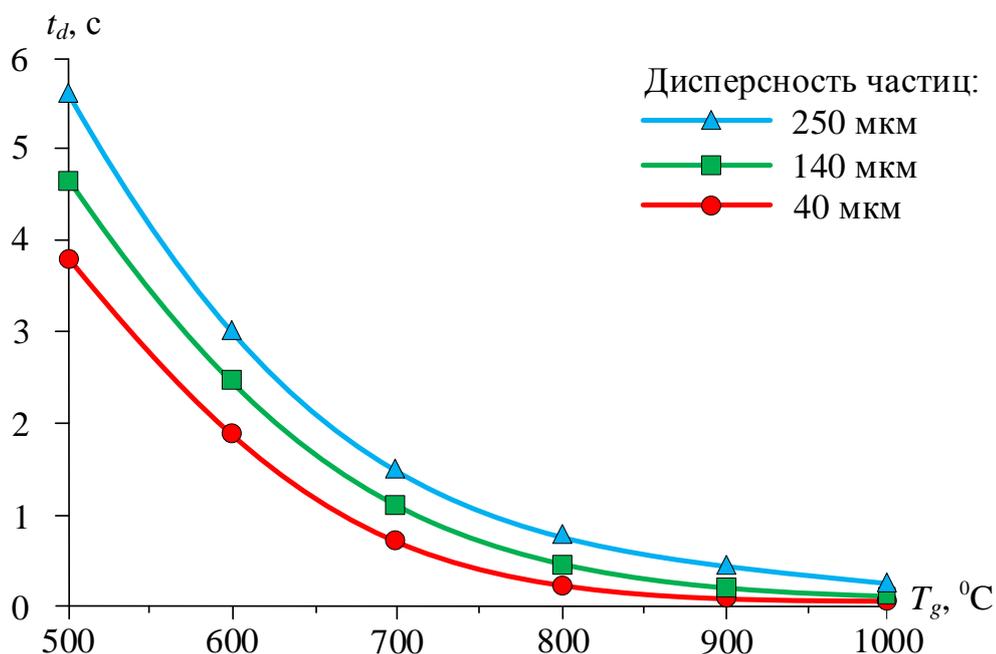


Рисунок 3.2 – Зависимость времени задержки зажигания частиц древесного угля от температуры воздуха

Минимальная температура, необходимая и достаточная для развития процесса устойчивого горения, составляет около 500 °C. При повышении значения температуры времена задержки зажигания также уменьшаются.

С увеличением дисперсности, но при той же массовой концентрации, частицы прогреваются медленнее, активация химической реакции на их поверхности происходит немного позже, чем в случае частиц с маленькой дисперсностью. Время сгорания частицы увеличивается, и после реакции остается небольшая доля недогоревшей угольной пыли.

На рис. 3.3 приведены зависимости времени задержки зажигания бурого угля марок “БЗ” и “2БР” от температуры окислителя при варьировании размеров частиц.

Зависимости $t_d = f(T_g)$ имеют нелинейный характер при изменении температуры потока воздуха в достаточно широком диапазоне.

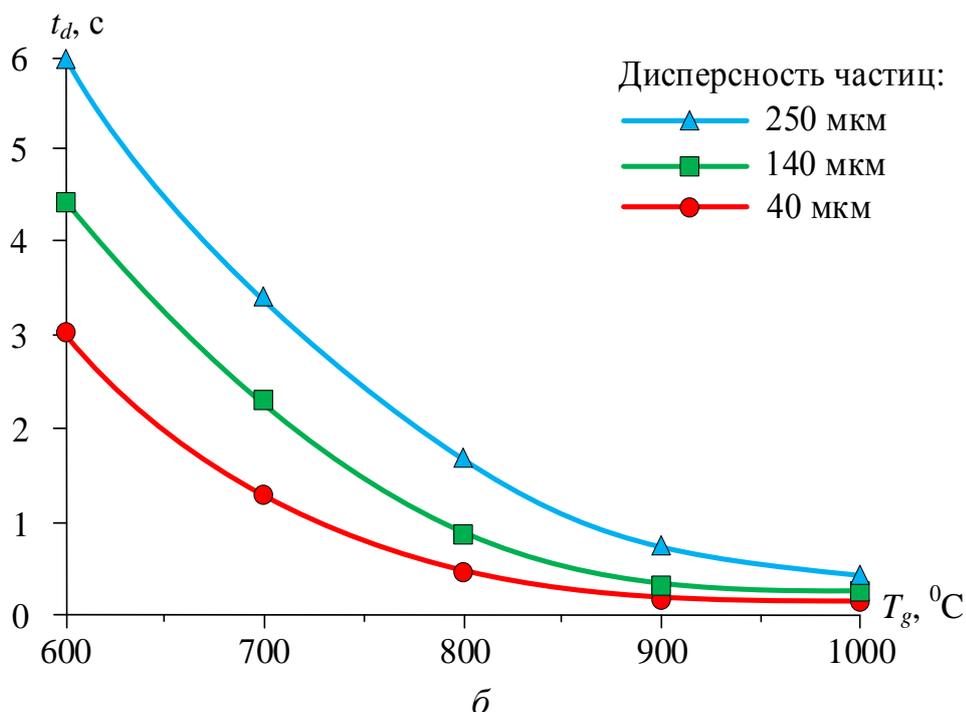
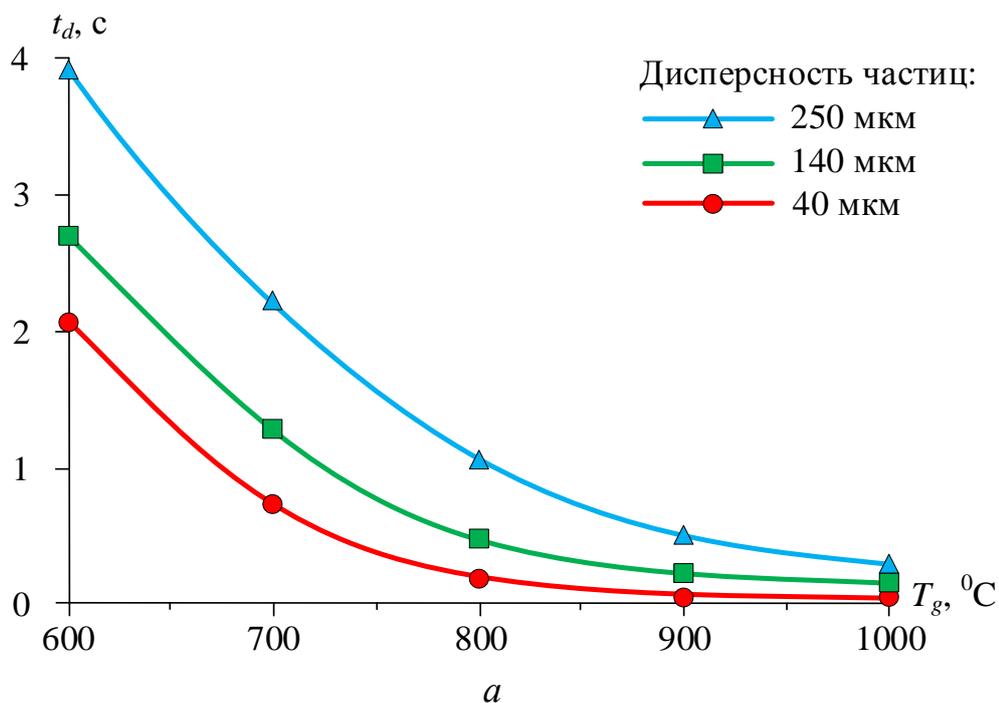


Рисунок 3.3 – Зависимость времени задержки зажигания частиц угольной пыли от температуры разогретого потока воздуха: *a* – Бурый уголь марки “БЗ”, разрез “Балахтинский” Красноярского края; *б* – Бурый уголь марки “2БР”, разрез “Березовский-1” Красноярского края

При увеличении температуры влияние размеров частицы на времена задержки зажигания становится менее масштабным (рис. 3.1–3.4). Анализ результатов экспериментальных исследований также позволил установить

минимальную температуру, равную 600 °С, при которой происходит зажигание данных видов бурых углей. В условиях $T < 600$ °С энергии недостаточно для прогрева и инициирования горения угольной пыли.

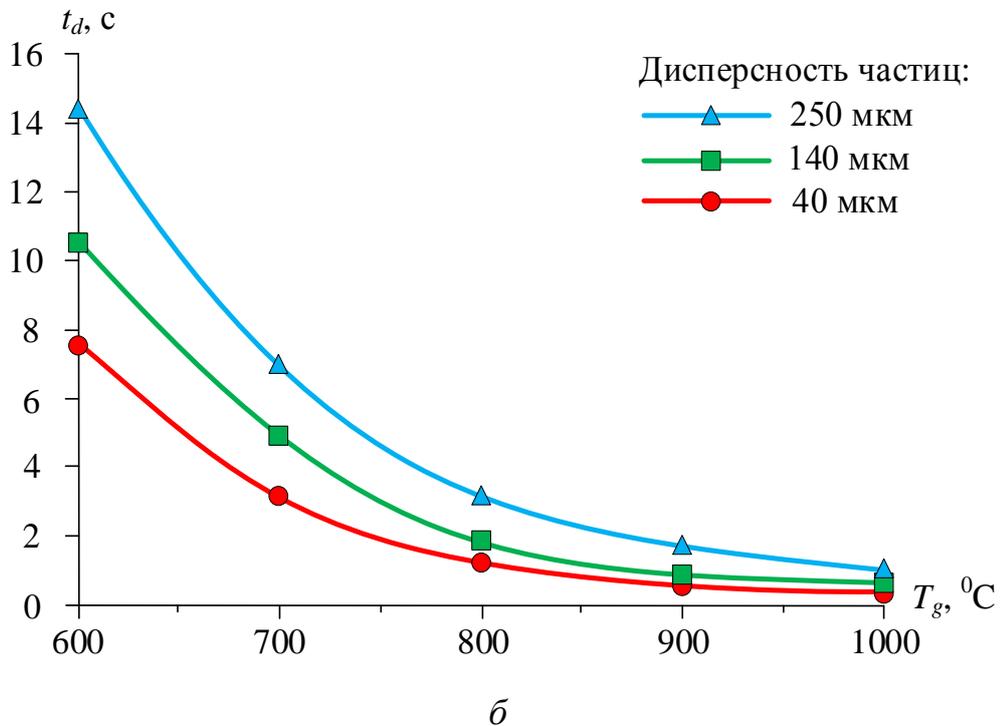
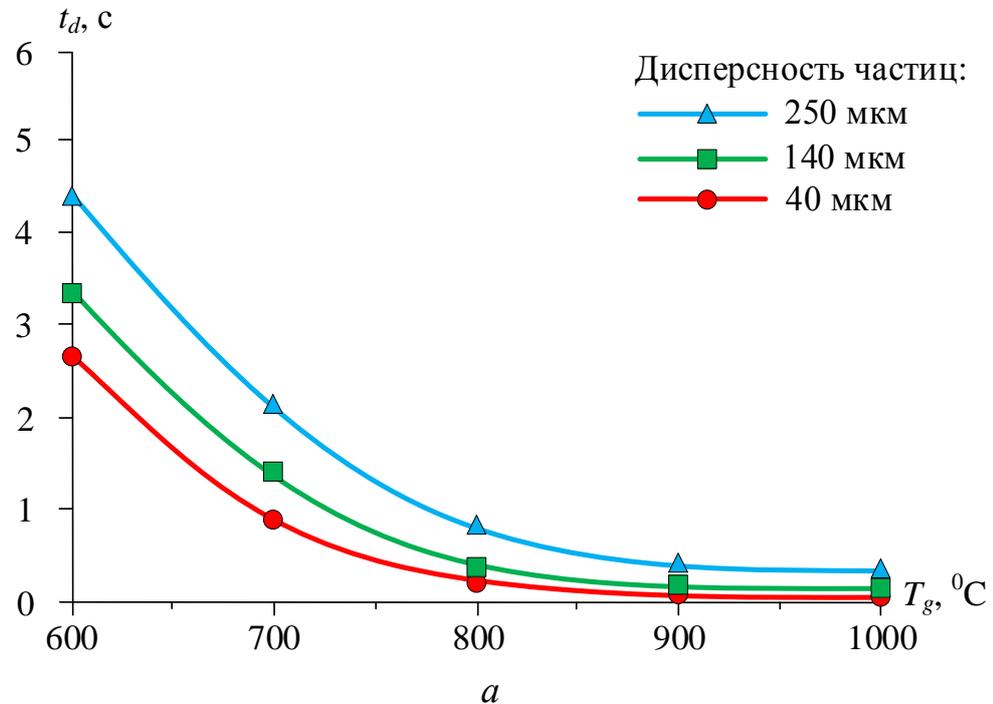


Рисунок 3.4 – Зависимость времени задержки зажигания частиц угольной пыли от температуры нагреваемого воздуха: а – Каменный уголь марки “Д”,

Листвянское месторождение Новосибирской области; б – Каменный уголь марки “Т”, разрез «Калтанский» Кемеровской области

На рис. 3.4 приведены зависимости $t_d = f(T_g)$ для каменного угля марки “Д” и марки “Т”.

Времена задержки зажигания угольной пыли марки “Т” (рис. 3.4 б) имеют значения выше (на порядок) по сравнению с углем марки “Д” и других образцов пылеугольного топлива. При этом минимальная температура процесса зажигания данных каменных углей равна 600 °С для всех размеров частиц (40 мкм; 140 мкм; 250 мкм). Разжечь тощий уголь труднее, он горит долго, так как в нем горит в основном коксовый остаток и нет массового выделения летучих веществ. Использование углей “Т” резко (на 30–50%) снижает мощность котла [18].

На рис. 3.5 представлены зависимости $t_d = f(T_g)$ для всех образцов угольной пыли (размерностью от 100–140 мкм), исследуемых в данной работе.

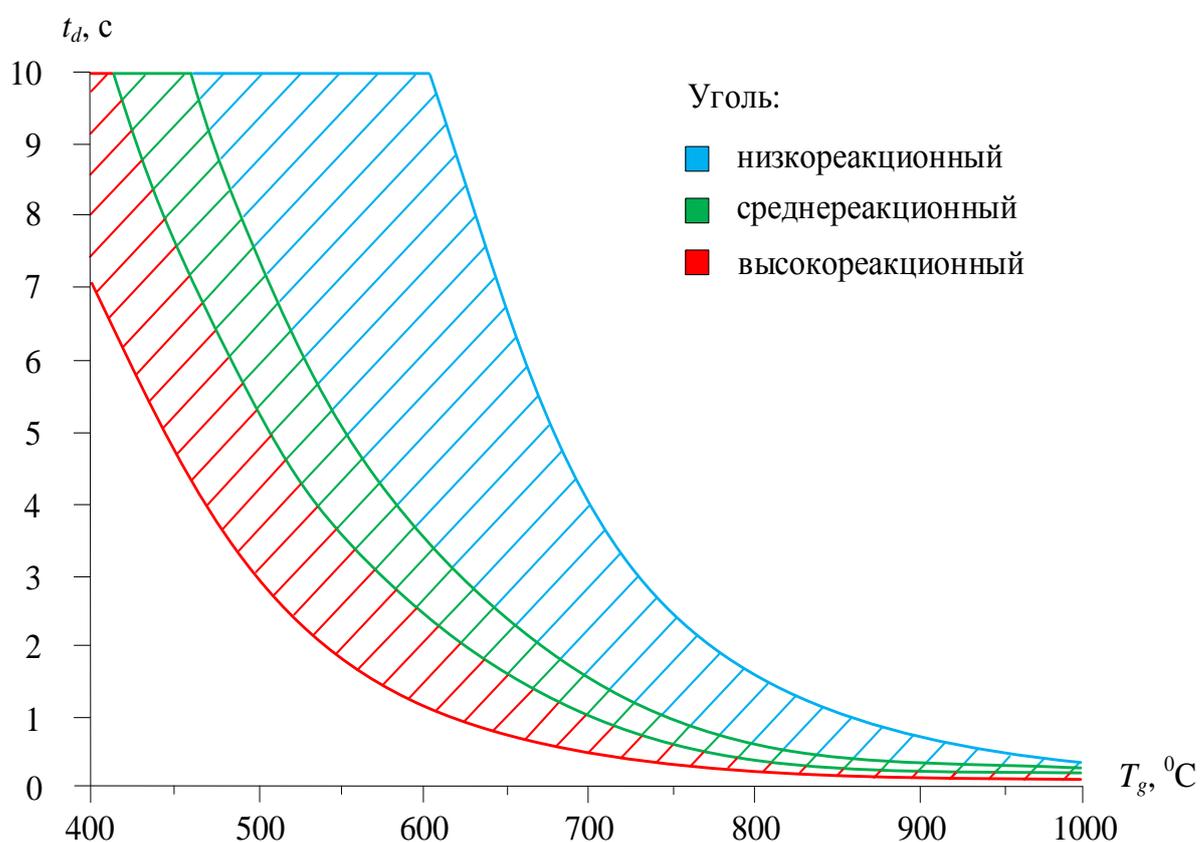


Рисунок 3.5 – Зависимость времени задержки зажигания угольной пыли от температуры воздуха

Рассмотренные в данной работе угли разных марок (табл. 2.1) по содержанию летучих можно условно разделить на три группы:

- 1) низкорреакционные угли $V^{\text{daf}} < 30 \%$;
- 2) среднереакционные угли $30 \leq V^{\text{daf}} < 50 \%$;
- 3) высокорреакционные угли $V^{\text{daf}} \geq 50 \%$.

К высокорреакционным углям относится бурый уголь с высоким содержанием летучих и древесный уголь.

Эксперименты с угольной пылью в нагреваемом воздухе показали, что их возгорание происходит при температурах более 500–600 °С. При этом на видеозаписях были зарегистрированы единичные горящие частицы, которые сгорают существенно быстрее, чем при более высоких температурах. Вероятно, размер этих частиц намного меньше размера основной части навески, которые не разделились при просеивании.

Также было установлено, что длительность индукционного периода возрастает с увеличением дисперсности угля.

Оценивая полученные результаты, можно отметить, что высокорреакционные угли (бурые угли марок “Б1”, “Б3”, “2БР” и древесный уголь) имеют минимальную температуру, необходимую для устойчивого горения. Этот результат позволяет сделать вывод, что оптимизацию процесса зажигания в реальных условиях целесообразно проводить в диапазоне изменения температуры источника нагрева $T_g = 500\text{--}650$ °С с целью снижения энергозатрат.

Устойчивое зажигание среднереакционных и низкорреакционных углей происходит в условиях взаимодействия с окислителем при температурах $T_g = 600$ °С и выше. При таких значениях T_g для низкорреакционных углей характерны большие времена задержки зажигания по сравнению со среднереакционными и высокорреакционными углями при идентичных условиях нагрева.

Для оценки средних значений времен задержки зажигания мелкодисперсных частиц угля могут быть использованы аппроксимационные выражения:

1) низкорреакционный уголь:

$$t_d \approx 620.7 \exp(-0.00900T_g) \text{ при } 600 \leq T_g \leq 1000 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (1)$$

2) среднереакционный уголь:

$$t_d \approx 551.3 \exp(-0.00909T_g) \text{ при } 500 \leq T_g \leq 1000 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (2)$$

3) высокорреакционный уголь:

$$t_d \approx 219.5 \exp(-0.00799T_g) \text{ при } 400 \leq T_g \leq 1000 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Полученные результаты являются основой для разработки рекомендаций по конструированию перспективных растопочных пылеугольных горелочных устройств для котлов.

На рисунке 3.6 представлены результаты процесса сжигания бурого угля, которые иллюстрируют применимость аппроксимационных выражений (1)–(3) для прогноза времен задержки зажигания высокорреакционного угля при движении в потоке разогретого воздуха.

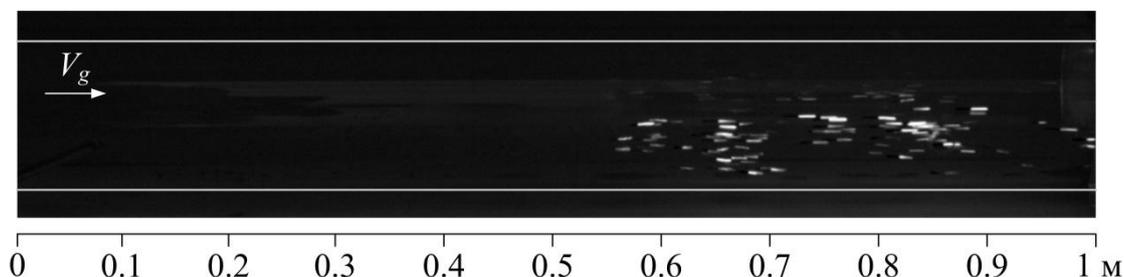


Рисунок 3.6 – Кадр видеोगраммы зажигания частиц бурого угля дисперсностью около 80 мкм в потоке разогретого воздуха

По вычисленным значениям времен зажигания мелкодисперсного угля можно достаточно достоверно выполнить прогноз расстояния, которое проходили частицы при движении в потоке разогретого воздуха до момента их зажигания.

Горению пылевоздушных составов посвящен ряд фундаментальных работ [5–10]. Согласно тепловой теории воспламенения, воспламенение угольной пыли происходит благодаря выделению горючих газов из взвешенной пыли при нагревании. Источник воспламенения вызывает термодеструкцию нагретых угольных частиц, что приводит к образованию горючих газов. Выделившиеся горючие газы создают вокруг частиц угольной пыли взрывоопасную газоздушную смесь. Газы загораются от источника воспламенения, и образующаяся энергия передается соседним частицам, приводя к их нагреву, выделению горючих газов и их воспламенению.

Доля выделившихся летучих компонентов будет зависеть от дисперсности угольных частиц, начальной температуры и от мощности источника зажигания.

Для повышения стабильности зажигания твердого натурального топлива в условиях относительно невысоких температур в муфеле растопочной пылеугольной горелки может быть использована технология [43] завихрения пылевоздушного потока (рис. 3.7). В условиях вихревого движения пылевоздушной смеси можно достичь кратного увеличения времен прогрева мелкодисперсной угольной пыли в горелке по сравнению с прямоточными горелками. Согласно полученным результатам (рис. 3.5) при применении вихревых горелочных устройств возможен переход от режима высокотемпературного ($T_g \geq 800$ °С) зажигания угольной пыли к режиму низкотемпературного зажигания ($T_g = 500\text{--}600$ °С). Это приведет к снижению энергозатрат на растопку котла, а также к снижению амортизации горелки. Также можно отметить, что применение технологии завихрения пылевоздушного потока позволяет уменьшить массогабаритные характеристики вихревой горелки по сравнению с аналогичными характеристиками прямоточной горелки при условиях идентичной интенсивности нагрева мелкодисперсной угольной пыли в обоих случаях.

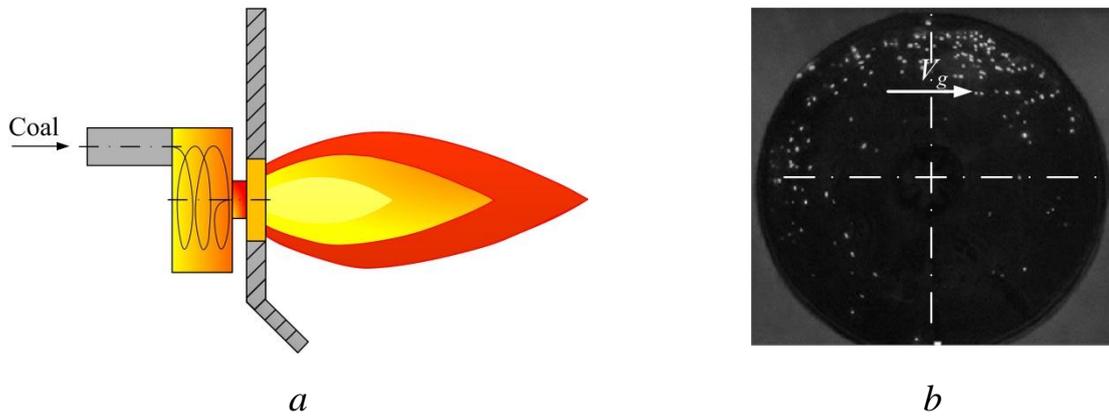


Рисунок 3.7 – Схема вихревой горелки [43] (а) и кадр видеogramмы (б) зажигания частиц угля в вихревом потоке воздуха при $T_g = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_g = 3\text{ м/с}$

Кроме того, полученные результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для усовершенствования технологий, которые используются при добыче угля, а также для разработки мероприятий по устранению неконтролируемых возгораний мелкодисперсной угольной пыли при транспортировке, хранении и подготовки к сжиганию угля или при проведении ремонтно-восстановительных работ на технологических объектах.

4 Описание объекта автоматизации

Котельный агрегат типа БКЗ-420-140 Таганрогского котельного завода [44] – это однобарабанный котел с естественной циркуляцией, предназначенный для получения пара высокого давления при сжигании Азейских бурых углей.

Компоновка пылеугольного котла выполнена по П-образной схеме. Топочная камера является первым восходящим газоходом. В верхней части топки размещен ширмовый пароперегреватель. В горизонтальном газоходе расположены конвективные поверхности нагрева пароперегревателя. В опускном газоходе расположены экономайзер и воздухоподогреватель.

Также на котлоагрегате типа БКЗ-420-140 (рис. 4.1) в качестве основного топлива используется уголь Переясловского разреза, марки “ЗБР”, который можно сжигать как в чистом виде, так и в смеси в любой пропорции с Азейским, Ирша-Бородинским, Ирбейским бурым углем.

Котел спроектирован для работы с параметрами:

- 1) паропроизводительность котлоагрегата 420 т/ч;
- 2) минимальная нагрузка при номинальных параметрах пара 210 т/ч;
- 3) давление перегретого пара на выходе из котлоагрегата 13,8 МПа;
- 4) расчетное давление в барабане парового котла 15,3 МПа;
- 5) температура перегретого пара 560 °С;
- 6) температура питательной воды 233 °С;
- 7) температура уходящих газов 139 °С.

Таблица 4.1 – Основные характеристики применяемых углей

Характеристики угля	Уголь Азейский	Уголь Ирша-Бородинский	Уголь бурый Ирбейский
W^a , %	25	33	28,9
A^d , %	16,5	11	10,3
V^{daf} , %	48	47	47
Q_s^a , МДж/кг	16,9	15,3	16,7

Для котельного агрегата БКЗ-420 в качестве растопочного топлива предусмотрен мазут марки М100, характеристики приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Физико-химические показатели мазута марки М-100

Наименование показателей Мазута М-100	Значение
Массовая доля механических примесей, %	1,0
Кинематическая вязкость при 80 °С, м ² /с (сСт)	118·10 ⁻⁶ (118,0)
Массовая доля серы в мазуте	3,5
Температура застывания, °С	25
Зольность, %	0,05
Температура вспышки в открытом тигле, °С	110
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие
Плотность при 20 °С, кг/м ³	Не нормируется, определяется обязательно
Теплота сгорания (низшая в пересчете на сухое топливо (небраковочная)), МДж/кг	39,9

Котлоагрегат оборудован индивидуальной системой пылеприготовления, с прямым вдуванием пыли в топку, в состав системы входит четыре молотковые мельницы типа ММТ–1550/2510/740, два дымососа типа Д–21,5×2 и два дутьевых вентилятора типа ВДН–24–2У.

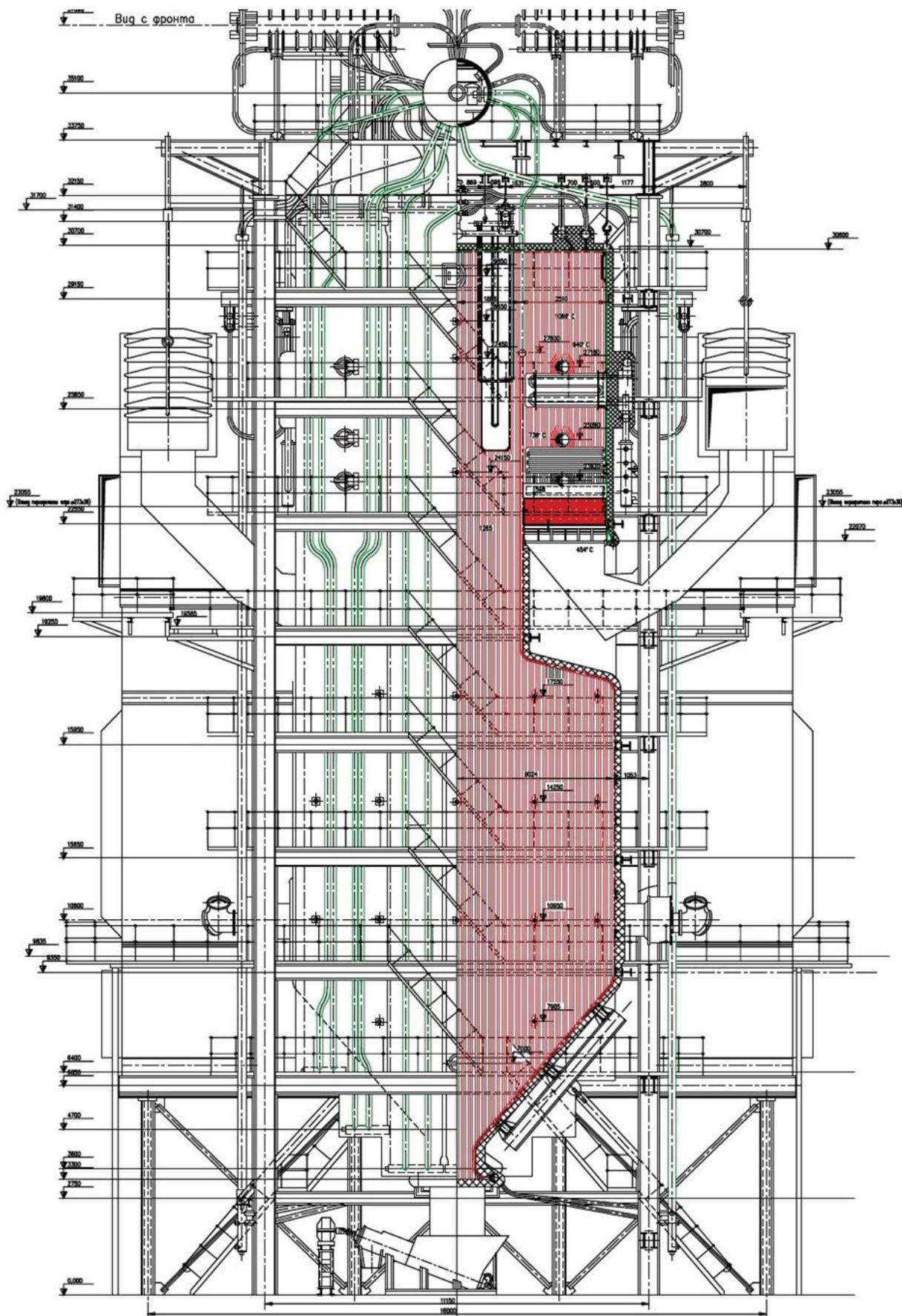


Рисунок 4.1 – Поперечный разрез котла БКЗ-420-140 [44]

В топочных устройствах мазут сжигается в распыленном состоянии, в виде капель в потоке воздуха. Горение происходит в паровой фазе, поскольку процессу горения капли всегда предшествует процесс испарения с ее поверхности. Поступившая в топочное устройство капля прогревается и начинает испаряться. Вокруг капли образуется сферическая зона, насыщенная парами испаряющейся жидкости. В условиях наличия окислителя и достижения в зоне температуры воспламенения в тонком слое на внешней части сферической поверхности начинается горение паров жидкости. Этот слой называется фронтом горения. Выделяющаяся при этом теплота способствует еще более интенсивному испарению капли. Скорость сгорания мазута определяется скоростью его испарения с поверхности, которая многократно увеличивается при распылении жидкого топлива на мелкие капли.

Поскольку скорость сгорания мазута в значительной мере определяется интенсивностью его испарения, первым и важнейшим этапом подготовки жидкого топлива к сжиганию является распыление его на мельчайшие частицы [45]. Площадь поверхности испарения при этом увеличивается в сто раз. При распылении мазута получаются капли размером от нескольких десятков до сотен микрометров. Наиболее мелкие капли испаряются и воспламеняются первыми, способствуя испарению и воспламенению более крупных.

При сжигании мазута для испарения его наиболее тяжелых фракций требуется прогрев капель до температур порядка 400 °С и даже выше [46,47]. По мере нагревания происходит термическое разложение топлива с образованием как газообразной, так и твердой (кокс, сажа) фаз, которые выгорают так же, как частицы твердого топлива. Раскаленные частицы сажи и кокса в пламени придают высокую светимость факелу.

Таким образом, процесс сжигания мазута состоит из следующих последовательных этапов:

- 1) распыление топлива;

- 2) возникновение горючей смеси, которая состоит из окислителя, а также продуктов термического разложения и испарения углеводородов топлива;
- 3) процесса воспламенения данной горючей смеси в зоне фронта горения;
- 4) процесс горение горючей смеси.

Эффективность использования мазута в значительной степени зависит от начальных подготовительных этапов, определяемых работой сжигающих топливо устройств – мазутных форсунок.

На котлах типа БКЗ-420-140 [48], которые работают на общую магистраль, регулятор топлива стабилизирует расход жидкого топлива (мазута) с заданием от главного регулятора. На воздуховодах пылеугольного котельного агрегата отсутствуют достаточной длины прямолинейные участки, которые были бы пригодны для установки расходомеров. Поэтому в схеме регулирующего устройства расхода общего воздуха (РОВА) используется импульс по давлению воздуха в перемычке за регенеративным воздухоподогревателем (РВП). Управляющим сигналом на регулятор служит сигнал по расходу жидкого топлива.

Котлоагрегат работает с переменным составом горелок. На номинальной нагрузке при сжигании жидкого топлива (мазута) задействовано 8 горелок, а затем при уменьшении нагрузки котла сначала отключаются два горелочных устройства, в дальнейшем еще одно горелочное устройство. Данная существующая схема автоматического регулирования (АСР) топлива и воздуха обеспечивает необходимый оптимальный процесс горения в диапазоне нагрузок котла 50–100 % от номинальной. В режимах изменения количества работающих горелок регуляторы отключаются. Это вынужденный характер при данной схеме автоматического регулирования процесса горения топлива, достаточно негативно воспринимается оперативным персоналом и, соответственно, затрудняет эксплуатацию регуляторов системы.

При автоматизации воздушного режима работы котла одинаково используются схемы как с импульсом по давлению, так и с импульсом по расходу воздуха.

Недостаточная гибкость и определенная ограниченность, которая существует сейчас в эксплуатации набора схемных решений по регулированию самого процесса горения в топке котла, определяются, с одной стороны, проблемами технологического характера, а с другой – сложностью или невозможностью конструктивно-аппаратурного исполнения отдельных элементов, функций управления рассматриваемой системой.

Стоит подчеркнуть, что в настоящее время с внедрением в отрасль энергетики микропроцессорных средств регулирования, основные аппаратурные проблемы снимаются в значительной степени. Вероятно, в ближайшей перспективе любые структурные разработки в области автоматизации всего оборудования ТЭС не будут ограничиваться возможностью внедрением микропроцессорных средств на выпускающихся цифровых технических средствах. Вместе с тем, далеко не все ТЭС имеют в своем распоряжении микропроцессорные контроллеры или планируют модернизацию основных систем управления с заменой аналоговых технических средств.

Одной из серьезных проблем является наличие на некоторых котлах мазутных форсунок без парового распыла, которая препятствует нормальному функционированию автоматики процесса горения в топочной камере парового котла. Так, на котлоагрегате типа БКЗ-420-140 паропроизводительностью 420 т/ч и с давлением мазута перед горелками 2,75 МПа обеспечивается хороший распыл на шести форсунках. Включение двух дополнительных форсунок при установившемся постоянном расходе топлива вызывает понижение давления и, следовательно, непостоянную работу горелочных устройств котла. Вследствие этого, одновременно с включением дополнительных форсунок оператор увеличивает расход топлива, таким образом, и нагрузку котельного агрегата. Поскольку

регулятор топлива это и есть стабилизирующее устройство расхода жидкого топлива (мазута), а процесс включения в рабочий режим количества горелочных устройств – это динамический, то использование системы автоматизации не освобождает оперативный персонал от его обычных действий в этой ситуации.

Регулирующее устройство РОВ, который работает по соотношению «давление воздуха – расход топлива», после переключения горелок без дополнительного вмешательства оперативного персонала будет поддерживать переизбыток воздуха или неполное сгорание топлива.

При процессе регулирования подачи топлива в паровой котел, а именно в режимах растопки горелочных устройств, важно не допустить снижения давления топлива до уставки, при которой срабатывает система защиты на останов котельного агрегата. В практике эксплуатации и наладки регулирующие устройства топлива часто оснащаются устройствами, которые блокируют действие самого регулятора на закрытие клапана при пониженном значении давления. Низкая эффективность работы таких блокировок заключается в устранении только последствия первопричины, которая привела к понижению давления. Реализация подобных защитных мероприятий требует специальной алгоритмической подготовки, а их внедрение будет возможна только на базе микропроцессорных систем управления.

В топливных трактах обычно устанавливаются по два клапана (основной и пусковой) поворотного типа.

На рисунке 4.2 представлена схема регулирования процесса горения в топочной камере котла, который работает с переменным составом горелок, при отсутствии измерения расхода воздуха. Регулирующее устройство РОВ поддерживает заданное значение давления в перемычке за РВП в соответствии с уставкой давления сжигаемого топлива. Соотношение этих значений давлений подбирается из режимной карты и остается постоянным для данного типа котлоагрегата, который зависит только от вида

энергоносителя и числа работающих горелочных устройств. Статические характеристики давления мазута и давления воздуха при переходе от шести горелок к восьми изменяются, но их крутизна примерно сохраняется.

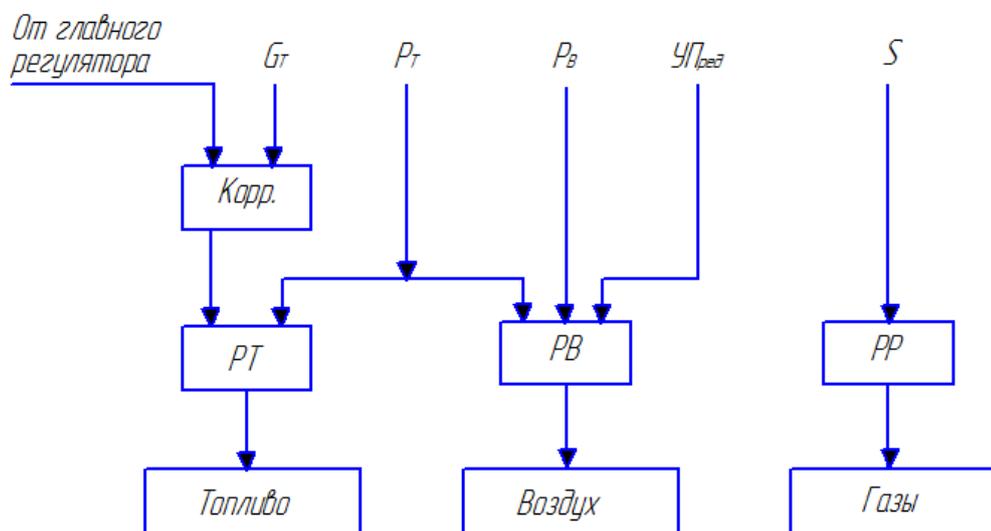


Рисунок 4.2 – Схема регулирования процесса горения в топке котла, работающего с переменным составом горелок

Регулирующее устройство топлива реализовано по каскадной схеме. Стабилизирующий контур поддерживает значение давления топлива за регулирующим клапаном согласно уставке, которая поступает от корректирующего регулятора по кислороду. Корректор поддерживает расход жидкого топлива пропорционально заданной нагрузке котла. Так как отключение-включение горелочных устройств является сильным возмущением по топливу и имеет небольшое количество горелок, стабилизация давления в подобных режимах весьма необходима. Особенно это относится к включению горелочных устройств, где сопровождающий этот процесс провал давления топлива может затруднить параллельной работой регулятора расхода.

Следовательно, в такой схеме формируется автоматическое задание регулирующему устройству давления топлива, которое определяется нагрузкой котельного агрегата.

5 Разработка структурной схемы АСУ ТП безмазутной растопки пылеугольного котла типа БКЗ-420-140

Оптимизация процессов горения в паровых котельных агрегатах осуществляется посредством внедрения автоматизированной системы контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла.

Автоматизированная система управления безмазутной растопки котла выполнена на основе микропроцессорной техники, представляет собой систему, реализующую принцип функционально-группового управления и реализована в трёх уровнях [49]. Структурная схема представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С1.

Нижний уровень представляет собой совокупность первичных средств измерения температуры, давления и расхода местных показывающих приборов, а также другого оборудования, необходимого для контроля всех технологических параметров системы. Все оборудование нижнего уровня должно быть размещено на технологическом объекте или в непосредственной близости от него, на приборных щитах.

Технические средства среднего уровня включают в себя шкаф управления. Оборудование среднего уровня автоматизированной системы выполняет функции сбора информации с датчиков (расхода, температуры, давления и т.д.), линеаризации, фильтрации и масштабирования входных аналоговых сигналов, автоматический контроль над технологическим оборудованием топки котельного агрегата. Также средства среднего уровня необходимы для передачи информации о состоянии технологического оборудования на верхний уровень системы автоматизации.

К верхнему уровню АСУ ТП относится автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Верхний уровень предназначен для приема и отображения информации со среднего уровня станции, визуализации технологического процесса, централизованного хранения текущих и

архивных параметров, предоставления отчетности эксплуатирующему персоналу. Контроль над технологическим процессом осуществляется оператором с пульта управления через персональный компьютер с мнемосхемой АСУ ТП. Обслуживающий персонал только даёт команды на «Пуск» или «Стоп» того или иного оборудования или вносит свои корректировки в технологический процесс работы источника тепловой энергии.

АРМ оператора представляет собой персональный компьютер офисного исполнения с комплектной клавиатурой, мышью, монитором и принтером. Все АРМ обычно идут комплектно с системным, офисным и прикладным программным обеспечением. Станция инженера позволяет с помощью специализированного программного обеспечения (ПО) изменять конфигурацию, логику выполнения ПЛК.

Подсистема технологических защит обеспечивает возможность нормальной эксплуатации оборудования во всех режимах работы, включая пусковые, без вмешательства оперативного персонала в работу технологических защит. Интерфейсная часть подсистемы технологических защит и блокировок выполнена в удобном для понимания алгоритма виде и позволяет оперативно и быстро разобраться в причинах включения защиты или блокировки.

Технологические защиты предусматривают:

- 1) автоматическое и ручное включение/отключение;
- 2) санкционированную корректировку заданных уставок защиты;
- 3) регистрацию и контроль действия первопричины срабатывания;
- 4) формирование протоколов аварийных ситуаций, которые регистрируют изменения аналоговых и дискретных параметров до и после аварии.

Организация сетей передачи данных осуществляется посредством сетей Ethernet, RS-485.

Входными параметрами при розжиге являются: расход воздуха $Q_{в}$, расход $Q_{конт}$ теплоносителя контура, давление дутьевого воздуха $P_{в}$, разрежение в топке $P_{т}$, датчики температуры в топочной камере котла, дискретные датчики состояния. Выходные параметры: температура теплоносителя контура $T_{тн}$, температура дымовых газов $T_{дг}$.

Датчики нижнего уровня передают сигналы в программируемый логический контроллер, после ПЛК обрабатывает поступающие сигналы. На основании полученных данных формируются управляющие воздействия на регулирующие органы системы автоматизации.

Для обеспечения устойчивого воспламенения угольной пыли требуется текущий контроль температуры топочной камеры, которая должна находиться в пределах 800–1700 °С.

Контроллер обеспечивает оптимальное изменение подачи топлива для получения переходного процесса с заданными показателями качества.

6 Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации

6.1 Разработка функциональной схемы

Измерительная информация о ходе технологического процесса и о состоянии основного и вспомогательного оборудования содержит в основном сведения о теплотехнических величинах, измеренных приборами или измерительными системами. Процесс измерения величин и совокупность средств, осуществляющих эти измерения, носят название теплотехнического контроля [51].

При разработке функциональной схемы автоматизации и выборе технических средств были учтены основные особенности технологического процесса, параметры и физико-химические свойства технологических сред, агрессивность и токсичность окружающей среды, условия взрывоопасности, расстояние от мест установки датчиков, отборных и приёмных устройств до постов контроля, требуемая точность и быстродействие средств данной АСУ ТП.

Функциональная схема автоматизированной системы контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С2.

Автоматизация процессов горения топлива приводит к:

- 1) снижению предельно-допустимых выбросов вредных веществ (ПДВ);
- 2) повышению надежности, безопасности процесса выработки тепловой энергии потребителям;
- 3) устранению проблемы, связанной с перерасходом пылеугольного топлива.

АСУ процесса горения обеспечивает подачу топлива и воздуха в топочную камеру в зависимости от нагрузки котельного агрегата,

поддержание оптимального соотношения «топливо – воздух», а также устойчивого разрежения в топочной камере пылеугольного котла.

Уголь перемалывается до пылевидного состояния, в цехе топливоподдачи происходит распределение мелкодисперсного пылеугольного топлива по бункерам и затем осуществляется подача в топку котлоагрегата через горелочные устройства.

Термическая подготовка топлива в вихревых растопочных горелочных устройствах позволяет путем предварительной частичной газификации угля получить высокореакционную газовзвесь, легко воспламеняющуюся и эффективно горящую в топке парового котла. В условиях вихревого движения пылевоздушной смеси можно достичь кратного увеличения времен прогрева угольной пыли в горелке по сравнению с прямоточными горелками при идентичных линейных размерах горелок.

Эта технология термоподготовки позволяет обеспечить снижение выбросов оксидов азота на 30–50 %, повысить КПД топочной камеры котла на 1–3 % при сжигании твердых натуральных топлив.

Сущность системы автоматизации с вихревыми горелками заключается в установке у топки котлоагрегата несколько горелочных устройств, через которые пропускается поток топлива в виде мелкодисперсной угольной пыли. Такие растопочные горелки позволяют ускорить начало процесса газификации мелкодисперсного угольного топлива, следовательно, ускорить процесс розжига котла, получить устойчивый растопочный факел. Конструкция растопочной горелки достаточно проста, надежна и безопасна.

Растопочная вихревая горелка состоит из корпуса с огнеупорной излучающей обмуровкой (туннель, муфель, предтопок), вспомогательной жидкостной или газовой горелки, соосного обмуровке патрубка подачи пылевоздушной смеси, подвода части вторичного горячего воздуха и подвода основной части вторичного воздуха обмуровки топки [52].

Процесс розжига осуществляется следующим образом: зажигаются малогабаритные вспомогательные жидкотопливные или газовые горелки,

затем через пылепровод подается пылевоздушная смесь (мелкодисперсная угольная пыль с первичным воздухом) в предтопок горелочного устройства. Пылевоздушный поток имеет развитую боковую поверхность и в начальный момент (т.е. до прогрева обмуровки) принимает излучением теплоту вспомогательных газовых или мазутных горелочных устройств одновременно с обеих сторон, что позволяет быстро провести предварительный нагрев пылеугольного топлива.

Прогретая мелкодисперсная угольная пыль начинает достаточно интенсивно газифицироваться, и газ, который возникает в результате пиролиза, горит, дополнительно нагревая остальную часть угольной пыли, что способствует дальнейшей газификации. Таким образом, после интенсивного нагрева и газификации пылевидное топливо воспламеняется от факелов вспомогательных жидко-топливных или газовых горелочных устройств внутри корпуса. После прогрева обмуровки вспомогательные жидко-топливные или газовые горелки отключаются. Дальнейшая газификация, нагрев и воспламенение пылевидного натурального топлива будут происходить за счет излучения стенок обмуровки, нагрев которых, в свою очередь, будет поддерживаться частичным сжиганием угольной пыли внутри предтопка.

В случае кратковременного погасания основного факела по какой-либо причине, например, кратковременного прекращения подачи мелкодисперсной угольной пыли, следующее зажигание пылеугольной струи происходит вследствие излучения стенок нагретого предтопка горелки, обладающего значительным запасом тепловой энергии. Такое горелочное устройство может быть использовано при необходимости и для подсветки основного факела топочной камеры котла.

Процесс сжигания топлива начинается с подачи угольной пыли мельничным вентилятором 17а в топку котла через растопочные вихревые горелки. В топке котла температура измеряется при помощи датчиков температуры 1а.

При помощи датчика давления-разрежения 9а поддерживается разрежение в топочной камере, путем изменения мощности вентилятора дымовых газов.

Поддержание заданной температуры в топочной камере осуществляется путем регулирования подачи воздуха в топку исполнительным механизмом 19а по сигналу от датчика наличия свободного кислорода в дымовых газах 16а.

Разрежение в топке поддерживают до полного выгорания топлива и остывания топки до заданной температуры работой вентиляторов дымовых газов 21а.

Управление мельничными вентиляторами и дымососами осуществляется через ПЛК, которое активизируется при срабатывании аналоговых датчиков давления-разрежения, температуры или расхода.

6.2 Выбор оборудования нижнего уровня автоматизации

6.2.1 Выбор датчиков температуры

Температуры в топочной камере парового котла БКЗ-420-140 могут достигать до 1600 °С, и поэтому в качестве датчиков температур рекомендуется использовать термопреобразователи с НСХ ПР и ПП. Рассмотрим модели наиболее популярных производителей термопар. Характеристики некоторых термопар приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6 – Технические характеристики некоторых термопар

Наименование	ТПУ 0304/М1 ПП (S)	ТПР-0192	Rosemount 3144Р 1075 ПП (S)
Диапазон измерений	0...+1700 °С	+600...+1600 °С	-40...+1800 °С
Выходные сигналы	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Класс допуска	1	1	1

Выберем термоэлектрические преобразователи серии ТПУ 0304/М1 ПП (S) (рис.6.1), которые зарекомендовали себя как надежные и долговечные приборы.

В клеммную головку первичного преобразователя встроен измерительный преобразователь. В состав данных ТЭП входит компенсатор температуры «холодного спая».

Термопреобразователи используются для работы с жидкими, твердыми и газообразными средами. Также использование термопреобразователей допускается для контроля температуры сыпучих сред, неагрессивных, а также агрессивных, по отношению к которым материалы, контактирующие с измеряемой средой, являются коррозионностойкими к материалу, из которого изготовлен корпус прибора.



Рисунок 6.1 – Внешний вид термоэлектрического преобразователя серии ТПУ 0304/М1

6.2.2 Выбор датчиков давления-разрежения

Необходимо поддерживать давление-разрежение в высокотемпературной среде. В соответствии с этим рассмотрим модели датчиков различных производителей и сравним их технические характеристики.

Интеллектуальные датчики давления серии Метран-150 предназначены для измерения и непрерывного преобразования в унифицированный аналоговый токовый сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485 давления-разрежения. Датчики Метран-150 имеют компактную конструкцию, имеют поворотный электронный блок и ЖКИ. Датчики Метран-150 изготавливаются в соответствии с самыми высокими требованиями к контрольно-измерительным приборам. Данные типы датчиков сохраняют работоспособность при кратковременном повышении токов или напряжений сверх установленных величин, также имеют высокую перегрузочную способность, обладают защитой от переходных процессов. Отдельная внешняя кнопка установки "нуля" и диапазона. Постоянная самодиагностика датчика дает необходимый уровень надежности и защищенности технического процесса.

Датчик давления Rosemount 2051 также предназначен для измерения давления разрежения и непрерывного преобразования значения измеряемого

параметра в аналоговый, либо цифровой выходной сигнал. Датчик изготавливается из различных материалов и с разными вариантами технологических соединений. Различные варианты исполнения – фланец Coplanar, традиционное фланцевое соединение, штуцерное исполнение, фланцы уровня – позволяют выбрать прибор, соответствующий конкретным условиям эксплуатации.

Датчики АИР-10Н предназначены для непрерывного преобразования избыточного давления-разрежения в унифицированный выходной токовый сигнал равный 4...20 мА и цифровой сигнал в стандарте протокола HART. Датчики оснащены современными тензорезистивными сенсорами с металлическими и керамическими мембранами. Тензорезистивные сенсоры с металлической разделительной мембраной из нержавеющей стали 316L, выполненные по технологии КНК, имеют высокую перегрузочную способность до 300 % от верхнего предела измерений. Примененные в датчиках керамические сенсоры обладают высокой стойкостью к перегрузкам (до 600 %) и особо высокой стойкостью к агрессивным средам.

Технические характеристики некоторых датчиков давления-разрежения приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7 – Технические характеристики некоторых датчиков давления-разрежения

Наименование	Элемер АИР-10Н	Метран-150	Rosemount 2051
Диапазон измерений	±5 кПа	0,25...6,30 кПа	±5 кПа
Выходные сигналы	4...20 мА, HART;	4...20 мА, HART; 0...5 мА	4...20 мА, HART
Пылевлагозащита	IP65	IP66	IP66

Выберем датчик давления-разрежения Элемер АИР-10Н, который является достаточно надежным средством измерения давления-разрежения в топке котла, а также стоимость такого типа датчика ниже, чем у остальных. Датчики давления данного типа являются малогабаритными (рис.6.2)



Рисунок 6.2 – Датчик давления-разрежения Элемер АИР-10Н

6.2.3 Выбор расходомеров

В процессе работы котельных агрегатов необходимо измерять расходы не только несжимаемых жидкостей, таких как питательная вода, но и расход первичного, вторичного воздуха, подающегося в топочную камеру парового котлоагрегата, также расхода пара потребителю. Обязательно требуется учитывать характеристики и особенности данных измеряемых сред при выборе расходомеров.

В качестве датчика расхода питательной воды можно использовать датчики дифференциального давления, как наиболее распространённый и дешёвый вариант. Датчик должен обеспечивать высокую точность измерения.

Датчик типа ЭЛЕМЕР-100 является одним из лучших российских интеллектуальных датчиков давления с широкими функциональными возможностями. Датчики предназначены для непрерывного преобразования в унифицированный токовый выходной сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485

по протоколу Modbus RTU входных измеряемых величин. Датчики оснащены современными тензорезистивными или емкостными сенсорами. Датчики оснащены многофункциональным 5-разрядным ЖК-индикатором с подсветкой и графической шкалой.

Расходомеры Метран-350SFA на базе осредняющей напорной трубки Annubar предназначены для измерения расхода жидкости, газа, пара в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности, а также в системах технологического и коммерческого учета.

Технические характеристики некоторых датчиков дифференциального давления приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4 – Технические характеристики датчиков дифференциального давления

Наименование	Метран-350SFA	ЭЛЕМЕР-100 ДД	Rosemount 3051
Диапазон измерений	до 25 МПа	0,063 кПа...16 МПа;	до 25 МПа
Выходные сигналы	4...20 мА, HART;	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; HART; Modbus RTU;	4...20 мА HART
Погрешность	± 0,75 %	± 0,15 %	± 0,025 %
Пылевлагозащита	IP65	IP65, IP54	IP66

Выберем преобразователь давления ЭЛЕМЕР-100-ДД, так как обладает достаточно высокой точностью измерения и подходящими эксплуатационными характеристиками.

Для измерения расхода воздуха также выберем аналогично преобразователь давления ЭЛЕМЕР-100-ДД (рис. 6.3), но во взрывозащищенном исполнении.



Рисунок 6.3 – Датчик давления ЭЛЕМЕР-100-ДД

6.2.4 Выбор газоанализатора

Подача пылеугольного топлива производится по сигналу от датчика наличия свободного кислорода в дымовых газах, присутствующего в большинстве газоанализаторов. Существует много типов газоанализаторов, наиболее распространенные из них это:

- электрохимические;
- термохимические;
- оптические.

Термохимические газоанализаторы имеют низкую стоимость, но вместе с этим низкую избирательность; маленький диапазон измеряемой концентрации; непродолжительный срок службы сенсора; низкое быстродействие и чувствительность; для работы требует наличие кислорода.

Электрохимические газоанализаторы позволяют обнаруживать даже мельчайшие частицы вредных газов; имеют широкий диапазон определения загрязняющих органических и неорганических веществ; низкое энергопотребление; однако вместе с этим имеют низкую селективность; крупные массогабариты.

Оптические газоанализаторы имеют высокую чувствительность; высокое быстродействие; селективность и чувствительность; они позволяют

определять практически все загрязняющие газы и вещества, но имеют высокую стоимость.

В таблице 6.8 приведены разные модели газоанализаторов.

Таблица 6.8 – Технические характеристики газоанализаторов

Производитель	Модель	Определяемые вещества	Количество каналов
1	2	3	4
НПП «ОРИОН»	Дозор-С	NH ₃ , CO, O ₂ , CO ₂ , NO ₂ , CL ₂ , SO ₂	1-5 (IP 65), 1-8 (IP 40)
НПП «ЭЛЕКТРОСТАНДАРТ»	ЭГС	CH ₄ , C ₃ H ₈ , CO ₂ , C ₂ H ₅ OH, H ₂ , O ₂ , CO, H ₂ S, NH ₃ , SO ₂	1-2, 1-64
ООО «ЛИФОТ»	Testo 350	CO, O ₂ , C _x H _y , SO ₂ , NO ₂ , NO	4-6

Так как требуется измерять только процент содержания кислорода в дымовых газах, выберем газоанализатор АКВТ-01 (рис.6.4).



Рисунок 6.4 – Газоанализатор АКВТ-01

6.2.5 Выбор преобразователя частоты

Регулирование числа оборотов электродвигателей дымососа, дутьевого и мельничного вентиляторов осуществляется с помощью таких устройств, как преобразователей частоты (ПЧ). Приведем описание основных технических характеристик выбранных в данной работе ПЧ от компании «Siemens» (рис. 6.5).

ПЧ типа «Micromaster 420» используются для решения широкого круга задач, которые требуют применение приводов с варьируемыми скоростями вращения. Данный тип преобразователей часто используют для приводов вентиляторов и насосов.

Преимуществами устройства являются:

- 1) простота в эксплуатации;
- 2) модульное исполнение (гибкая конфигурация);
- 3) высокая производительность;
- 4) широкий диапазон сетевых напряжений питания;
- 5) автоматический повторный запуск после нарушений режима работы ПЧ.



Рисунок 6.5 – Внешний вид преобразователя частоты «Micromaster 420»

6.2.6 Выбор программируемого логического контроллера

Для выбора оптимального контроллера для системы автоматизации рассмотрим требования, которые обычно предъявляются к его устройству и эксплуатации:

- автоматизированная система должна быть построена на микропроцессорных контроллерах промышленного назначения (ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007) [53];

- программируемый контроллер, который входит в состав системы автоматизации должен иметь модульную архитектуру, а также предусматривать возможность замены аппаратных коммуникационных модулей и модулей ввода/вывода без остановки работы контроллера;

- ПЛК, входящий в состав системы автоматизации, должен поддерживать стандарт МЭК 61131-3;

- прикладное программное обеспечение (ПО) должно сопровождаться специализированной программной средой для визуальной конфигурации прикладных данных ПЛК, диагностики всех модулей, тестирования всех функций;

- в ПЛК должна функционировать операционная система реального времени, обеспечивающая обработку критически важных прерываний за заданное время;

- ПЛК должен реализовывать функции самодиагностики всех модулей и целостности ПО.

Проведем сравнение ПЛК разных производителей.

Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-1500 используется для решения задач автоматизированных систем средней и высокой степени сложности [54]. Удобная модульная конструкция контроллера S7-1500, расширенные коммуникационные возможности, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, работа с естественным охлаждением, множество функций, которые

поддерживаются на уровне операционной системы, достаточно высокое удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения оптимальных решений для построения систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

Использование разных типов центральных процессоров, отличающихся производительностью, наличие большого выбора модулей ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров повышает эффективность применения контроллеров SIMATIC S7-1500.

Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-1500 имеют модульную конструкцию и состоят из таких элементов:

1) центральные процессоры (CPU). В зависимости от сложности задачи в ПЛК могут быть использованы различные типы центральных процессоров, которые отличаются производительностью, размером памяти, количеством и типом встроенных коммуникационных интерфейсов, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций и т.д.

2) блоки питания (PS), обеспечивают бесперебойное питание ПЛК от сети переменного тока напряжением 120/230 В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110 В.

3) сигнальные модули (SM), которые предназначены для ввода и вывода дискретных или аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами.

4) коммуникационные модули (CP) обеспечивают возможность подключения к сетям Industrial Ethernet, PROFIBUS или организации связи по PtP (point to point) интерфейсу.

5) функциональные модули (FM), решающие самостоятельно задачи автоматического регулирования обработки сигналов, позиционирования. Такие модули снабжены встроенным микропроцессором и выполняют

встроенные в них функции даже в случае отказа центрального процессора программируемого логического контроллера.

б) интерфейсные модули (ИМ), обеспечивают возможность подсоединения к базовому блоку (стойка с CPU) стоек расширения ввода-вывода. Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-1500 также позволяют использовать в своем составе до 32 сигнальных и функциональных модулей, коммуникационных процессоров, распределенных по 4 монтажным стойкам.

Центральные процессоры контроллера Siemens S7-1500 оснащены набором встроенных входов и выходов, а также набором встроенных функций, что позволяет применять эти процессоры в качестве готовых блоков управления.

Рассмотрим для сравнения программируемый логический контроллер фирмы Schneider Electric (Франция). Серия данных программируемых контроллеров типа Modicon M340 также является подходящим вариантом решения для задач управления, на базе высокопроизводительных совместимых программируемых контроллеров. Данный тип ПЛК хорошо сочетает в себе мощь с инновационными технологиями, всецело удовлетворяя требованиям производителей оборудования. Данный контроллер идеально подходит для использования совместно с Modicon Quantum и Modicon Premium в качестве мощного инструмента для разработки автоматизированной системы для определенных технологических процессов и инфраструктуры.

Воспользуемся контроллером Siemens SIMATIC S7-1500 (рис.6.6), который обеспечивает надежность, гибкость и функциональность системы управления.

Все необходимые технические характеристики о приборах и технических средствах автоматизации для реализации автоматизированной системы управления безмазутной растопки котельного агрегата представлены в заказной спецификации приборов и средств автоматизации.



Рисунок 6.6 – Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-1500

6.3 Составление заказной спецификации

Спецификация представляет собой техническую документацию, в которой отображены все необходимые сведения о контрольно-измерительных приборах и технических средствах автоматизации для реализации системы контроля и управления [55].

Спецификация предназначена для: составления сводных заказных ведомостей, чтения проектной документации, подготовки и организации монтажных работ и т.д. По ней производится закупка приборов и средств автоматизации, необходимых для реализации решений, принятых при разработке технического проекта.

Заказная спецификация на оборудование автоматизированной системы контроля и управления безмазутной растопки пылеугольного котла типа БКЗ-420-140 представлена в приложении Б.

7 Разработка принципиальной электрической схемы соединений шкафа управления

Принципиальная электрическая схема отображает все устройства и элементы, которые входят в состав изделия, их входные и выходные элементы (т.е. соединители, зажимы, платы), а также показывается соединение между всеми этими устройствами и элементами [56]. По принципиальной схеме осуществляется проверка правильности электрических соединений при монтаже и наладке электрооборудования. От качества разработки принципиальной электрической схемы зависит корректность работы производственного механизма, также его надежность и производительность при эксплуатации.

В процессе разработки автоматизированных систем различных технологических процессов принципиальные электрические схемы разрабатывают в следующем порядке:

- 1) на основании функциональной схемы составляют технические требования, предъявляемые к принципиальной электрической схеме;
- 2) согласно этим требованиям задают условия и последовательность действия схемы;
- 3) каждое из заданных условий действия схемы отображают в виде тех или иных элементарных цепей, которые отвечают данному условию действия;
- 4) осуществляют выбор аппаратуры и электрический расчет параметров некоторых отдельных элементов;
- 5) корректировка схемы осуществляется в соответствии с возможностями принятой аппаратуры;
- 6) проверяется возможность возникновения ложных или обходных цепей в схеме или ее некорректной работы при повреждениях элементарных цепей и контактов;
- 7) далее, рассматривают все возможные варианты решения и

принимают окончательную схему применительно к имеющейся аппаратуре.

Принципиальная электрическая схема соединений шкафа управления (ШУ) представлена на листе ФЮРА.421000.006 С3.

Питание шкафа управления автоматизированной системы контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла осуществляется от двухфазной цепи с переменным напряжением 220 В. Через клеммы ХТ0 и ХТ01 осуществляется питание ШУ системы.

Для защиты всего оборудования от перегрузок и токов короткого замыкания, которое устанавливается внутри ШУ, все питающие напряжения подаются через отдельные автоматические выключатели.

На входе цепи питания 220 В предусмотрена защита от перенапряжения РТ 2-РЕ/S-230АС-ST (Z01). Для резервирования питания и преобразования напряжения сети переменного тока 220 В в постоянное напряжение 24 В используется импульсный источник питания типа EF UPS EF UPS 1AC/24DC-4 (G1) с блоком аккумуляторной батареи АБ-24М (G2), который обеспечивает автономную работу всех устройств, входящих в состав ШУ. Также данные блоки питания G1 и G2 поддерживают неизменным напряжение при некотором значении перезагрузки, выпрямляют его и отсекают его при коротком замыкании на выходе.

В шкафу предусмотрено внутреннее рабочее освещение (лампа EL1) для обслуживания и ремонта. Концевой выключатель SQ1 предназначен для автоматического включения лампы при открытии и выключения при закрытии дверцы ШУ.

Для удобства обслуживания оборудования в шкафу управления предусмотрена розетка (XS1).

Температура воздуха внутри шкафа контролируется термореле типа ЕТА W1 282*1140 (KK1), уставка которой равна 40 °С. В шкафу также установлен вентилятор, который включается при срабатывании KK1 и отводит тепло от элементов схемы.

Кроме этого, в ШУ предусматривается терминальная панель, подключаемая к программируемому логическому контроллеру по PROFINET и расположенная на дверце шкафа.

На экране терминальной панели может отображаться несколько управляющих окон. Выбор конкретного управляющего окна осуществляется оперативным персоналом. Навигация по терминальной панели производится легким прикосновением пальца к управляющим элементам (кнопки, информационные поля, стилизованные изображения) на экране данной терминальной панели. По умолчанию на экране панели представлено главное окно управления основного программируемого контроллера. Из главного окна терминальной панели можно перейти в:

- окно контроля питания программируемых контроллеров и контроля состояния сети;
- окно индикации и задания уставки необходимых параметров для системы автоматизации;
- окно аварий и тревог АСУ ТП.

Перечень элементов принципиальной электрической схемы соединений шкафа управления представлен в приложении В.

8 Разработка общего вида шкафа управления

Чертеж общего вида шкафа управления поясняет принцип его работы, показывает его конструкцию и как взаимодействуют его составные части. Общий вид шкафа представлен на листе с шифром ФЮРА.42100.006 СЗ.

Шкаф управления предназначен для оперативного управления и контроля объектами автоматизации. В шкафу размещают технические средства контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительные приборы, элементы сигнализации, блокировки, защиты и другие элементов, которые предоставляют необходимую информацию на верхний уровень АСУ. Все приборы, расположенные в шкафу управления, имеют наклейки с обозначениями, соответствующими перечню элементов принципиальной электрической схемы соединений шкафа управления. Другими словами, шкаф является связующим звеном между объектом управления и человеком-оператором.

При проектировании ШУ решаются следующие задачи:

- 1) производится выбор необходимого типа шкафа управления и его размеров, корпусов пультов, панелей с каркасом, стоек и вспомогательных элементов;
- 2) определение размеров монтажных зон щита шкафного, панельного с каркасом, стативов, пультов;
- 3) компоновка приборов и вспомогательной аппаратуры, а также изделий для их монтажа на фасаде и внутри ШУ.

Конструкции ШУ должны обеспечивать комфортные условия эксплуатации, ремонта с минимально возможными затратами времени и безопасное обслуживание приборов. Также должны быть предусмотрены замки для устранения несанкционированного доступа и шина заземления с местом под приварку ее к главной заземляющей шине.

В чертеже общего вида шкафа управления отображаются вид спереди, вид на внутренние плоскости и таблицу надписей на табло, в рамках.

На виде спереди ШУ показывают приборы, технические средства автоматизации, отображают габаритные размеры шкафа, размеры, которые координируют установку приборов и всех средств автоматизации.

На чертеже вида на внутренние плоскости ШУ боковые стенки, крышки, поворотные конструкции, размещенные в разных плоскостях, изображают условно развернутыми в плоскости чертежа.

На внутренней плоскости шкафа представлены:

- установленные приборы и электроаппаратура;
- изделия из монтажа электропроводок (блоки зажимов, колодки маркировочные, упоры и др.).

В нижней части шкафа для подключения проводов установлены клеммные сборки. Также в нижней части расположены элементы цоколя. Цоколь имеет центральное отверстие, обеспечивающее циркуляцию воздуха и подвод силовых, коммуникационных кабелей снизу из пространства под фальшполом.

При разработке ШУ были выбраны габаритные размеры: высота – 1200 мм, ширина – 600 мм, глубина – 300 мм.

Конструктивно шкаф имеет закрытое исполнение и одностороннее обслуживание.

В данной выпускной квалификационной работе был выбран шкаф распределительный типа АЕ 1200x600x300 производства фирмы Rittal (Германия).

9 Разработка SCADA-системы

Процесс разработки SCADA-систем включает в себя следующие операции:

- разработка графического интерфейса (графики, всплывающие окна, мнемосхемы, таблицы, элементы ввода команд оператором и прочее);
- процесс отладки алгоритмов работы системы промышленной автоматизации АСУ ТП. В большинстве SCADA-систем отладку можно выполнить двумя вариантами – в режиме эмуляции оборудования или при подключенном оборудовании;
- произведение настройки систем промышленной коммуникации (модемов, промышленных сетей и коммуникационных контроллеров);
- процесс создания баз данных с дальнейшим подключением к ним SCADA-системы.

SCADA-система должна выполнять следующие задачи:

- осуществление взаимодействия с оператором (представление визуальной информации, трансляция системе команд оператора);
- оказание помощи оператору в процессе выработки необходимого решения (выполнение функций экспертной системы);
- автоматическое сигнализирование об аварии и случившихся критических ситуациях;
- вывод на пульт оператора информации о состоянии процесса;
- ведение журнала событий;
- поиск и извлечение архивной информации, и предоставление её оператору в удобном для него варианте;
- создание отчетов (графики смены операторов, таблицы температур, перечень необходимых действий оператора в определенной ситуации и прочее);
- учет наработки технологического оборудования.

В качестве SCADA-пакета, в котором должна проходить разработка мнемосхем была выбрана Simple Scada, исходя из ее доступности, простоты, большой применимости и отечественного производства.

Разработанная мнемосхема для автоматизированной системы контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла представлена на рисунке 9.1.

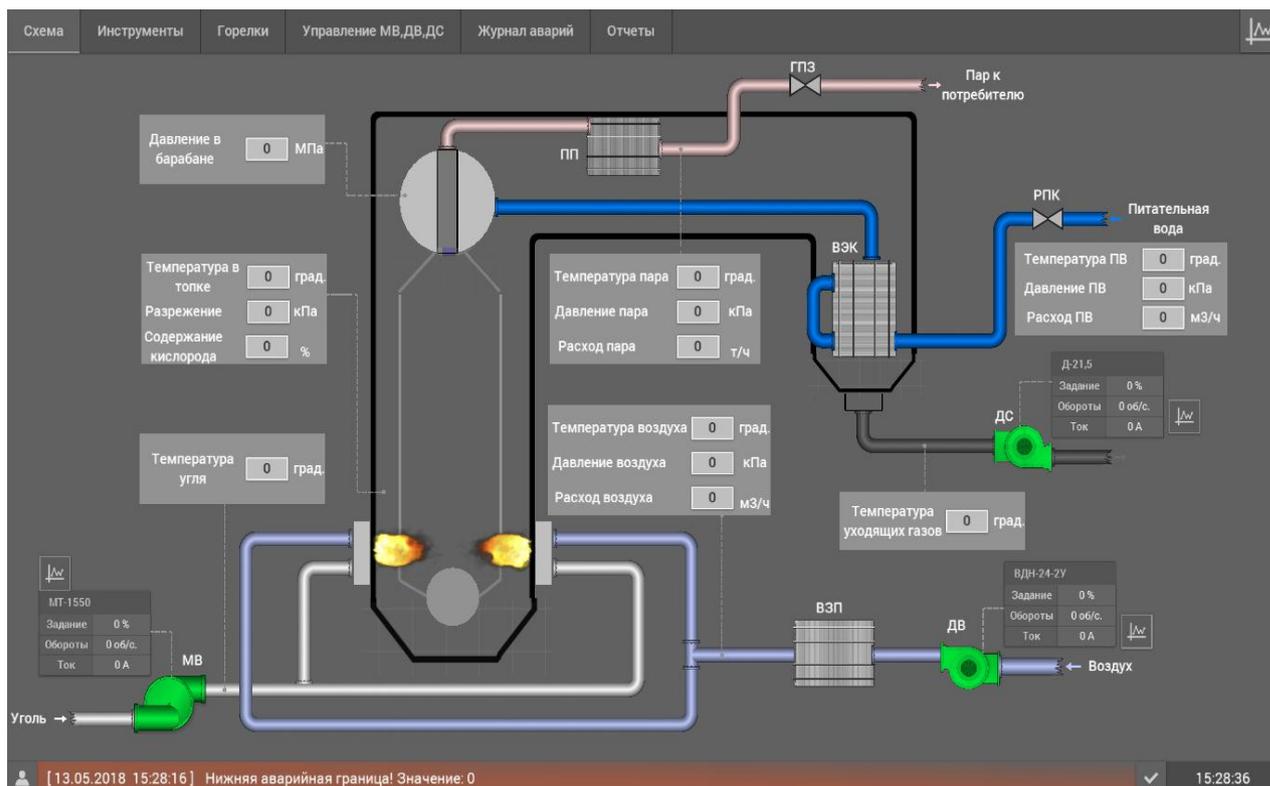


Рисунок 9.1 – Основная мнемосхема автоматизированной системы контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла

На основной мнемосхеме отображаются все необходимые технологические параметры системы. Также на основной мнемосхеме аварийные и нештатные режимы работы технологического оборудования отображаются посредством ярких цветовых схем и мигания (например, при безаварийном режиме работы, вентиляторы мигают зеленым цветом, а при аварии – красным). Если перейти во вкладку «Журнал аварий» можно увидеть список зафиксированных аварий за определенное время работы

системы, фрагмент данной вкладки представлен на рис. 9.2. Выбор управляющего окна осуществляется оперативным персоналом.



Рисунок 9.2 – Фрагмент вкладки «Журнал аварий»

На панели сигнализации отображаются сигналы о превышении значений давлений, расходов, температуры, а также аварийных состояниях технологического оборудования данной системы. Необходимые значения параметров задаются во вкладке «Инструменты», далее «Окно индикации и задания уставки». Смена значения уставки осуществляется прикосновением к надписи «Уставка» и последующим набором требуемого значения. Набор осуществляется на клавиатуре, которая появляется на экране терминальной панели. На панели трендов отображаются зависимости основных технологических параметров от времени. Ручное управление исполнительными механизмами и вентиляторами становится доступным при смене автоматического режима работы во вкладке «Управление МВ, ДВ, ДС». В этой вкладке отображается подробная информация о параметрах и режимах работы ПЧ каждого дутьевого вентилятора и дымососа.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ6Д	Чебочаковой Диане Анатольевне

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Магистратура	Направление подготовки	13.04.01. Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Месячный оклад НИ 26300 руб. Месячный оклад инженера 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Амортизационные отчисления 20 %, районный коэффициент 30 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам 30 % от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИ	1. Планирование НИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	2. Смета затрат на проект
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	3. Определение практической ценности проекта

Перечень графического материала

--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6Д	Чебочакова Диана Анатольевна		

10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Применение мазута в процессе растопки парового котла характеризуется проблемами технического характера, связанными с безопасной работой поверхностей нагрева и экологическими показателями, которые связаны с увеличением содержания оксидов серы и азота в дымовых газах. Все это заставляет задуматься о переходе с жидкого топлива на эквивалентное по тепловыделению пылеугольное топливо.

И важнейшей составной частью научных исследований является эксперимент, основой которого является научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями. Поэтому экспериментальное исследование процесса зажигания мелкодисперсного угольного топлива играет важную роль для изучения основных закономерностей и характеристик физико-химических процессов, протекающих при зажигании и горения частиц угольного топлива.

10.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

При разработке проекта необходимо определить объем и продолжительность необходимых работ. В таблице 10.1 представлен перечень и сроки выполнения работ.

Таблица 10.1 – Перечень работ и их продолжительность по времени, распределение по исполнителям

Наименование работ	Исполнители, Должность	Количество дней
1	2	3
Выдача и получение технического задания	Научный руководитель	1
	Инженер	
Анализ литературных данных	Инженер	7
Проведение экспериментальных исследований	Научный руководитель	3
	Инженер	14

Таблица 10.1 – Перечень работ и их продолжительность по времени, распределение по исполнителям (продолжение)

1	2	3
Обобщение результатов исследований, составление рекомендаций	Научный руководитель	2
	Инженер	13
Описание объекта исследования, разработка структурной схемы	Инженер	7
Разработка функциональной схемы	Инженер	4
Разработка заказной спецификации приборов и средств автоматизации	Инженер	4
Разработка принципиальной электрической схемы	Инженер	11
Разработка общего вида щита управления	Инженер	2
Разработка SCADA системы и написание программ	Инженер	14
Составление пояснительной записки	Инженер	11
Проверка пояснительной записки	Научный руководитель	2
Исправление ошибок и замечаний	Инженер	5
Сдача проекта	Инженер	1
Общее количество рабочего времени, потраченное каждым исполнителем	Научный руководитель	8
	Инженер	94

10.2 Смета затрат на проект

Смета затрат на проект рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{эк.ис} = K_{мат} + K_{ам} + K_{з.пл.} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл}, \quad (1)$$

где $K_{мат}$ – материальные затраты;

$K_{ам}$ – амортизация;

$K_{з.пл.}$ – затраты на заработную плату;

$K_{с.о}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные расходы.

10.2.1 Материальные затраты

Под материальными затратами принимается величина денежных средств, которые были потрачены на покупку канцелярских принадлежностей, необходимых для проведения работы. Величину этих затрат в данной работе принимаем в размере:

$$K_{mat} = 1000 \text{ руб.}$$

10.2.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизационными отчислениями являются денежные средства, предназначенные для возмещения износа предметов, относящихся к основным средствам предприятия. В данной работе использовалась компьютерная техника для обработки результатов.

$$K_{ам} = \frac{T_{исп}}{T_{календ}} \cdot Ц \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad (2)$$

где $T_{исп.}$ – время использования устройства (97 дней);

$T_{календ.}$ – календарное время (365 дней);

$Ц$ – цена устройства;

$T_{сл}$ – срок службы устройства (5 лет).

Анализ результатов экспериментов проводился с помощью компьютера фирмы Dell Vostro с монитором Dell E2216H, общей стоимостью 33280 руб.

Таким образом, амортизация компьютерной техники составляет:

$$K_{ам} = \frac{97}{365} \cdot 33280 \cdot \frac{1}{5} = 1768,9 \text{ руб/год.}$$

10.2.3 Затраты на заработную плату

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Расчёт месячной заработной платы производится по следующей формуле:

$$ЗП_{мес.} = k_1 \cdot k_2 \cdot ЗП_{оклад}. \quad (3)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, равный 10% ($k_1 = 1,1$);

k_2 – районный коэффициент, равный 30% ($k_2 = 1,3$);

$ЗП_{оклад}$ – месячный оклад.

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

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

Фактическая заработная плата за работу над проектом:

$$ЗП^{факт} = \frac{ЗП_{мес}}{d} \cdot n^{факт}, \quad (4)$$

где $ЗП_{мес}$ – месячная зарплата работника ТПУ;

d - количество рабочих дней в месяце ($d = 21$);

$n^{факт}$. – фактическое число дней в проекте.

$$ЗП_{Инж}^{факт} = \frac{24310}{21} \cdot 94 = 108816 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{НР}^{факт} = \frac{37609}{21} \cdot 8 = 14327 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату складываются из заработных плат инженера и научного руководителя:

$$\Sigma ЗП = K_{з.пл} = ЗП_{инж}^{факт} + ЗП_{НР}^{факт}, \text{ руб.} \quad (5)$$

где $ЗП_{инж}^{факт}$ – фактическая заработная плата инженера;

$ЗП_{НР}^{факт}$ – фактическая заработная плата научного руководителя.

$$K_{з.пл} = 108816 + 14327 = 123143 \text{ руб.}$$

10.2.4 Затраты на социальные нужды (отчисления)

Затраты включают в себя отчисления во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и др.).

Отчисления на социальные нужды принимаются в размере 30 % от затрат на заработную плату:

$$K_{c.o.} = K_{з/пл} \cdot 0,3. \quad (6)$$

$$K_{c.o.} = 123143 \cdot 0,3 = 36942,9 \text{ руб.}$$

10.2.5 Прочие затраты

Величина прочих затрат принимается в размере 10 % от основной и дополнительной заработной платы действующего персонала (научный руководитель и инженер), работающих над данным дипломным проектом.

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (K_{mat.} + K_{ам.} + K_{з.пл.} + K_{c.o.}), \quad (7)$$

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (1000 + 1768,9 + 123143 + 36942,9) = 16285,5 \text{ руб.}$$

10.2.6 Накладные расходы

Под накладными расходами понимаются дополнительные к основным затратам расходы, которые необходимы для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Другими словами такие расходы относятся ко всему проекту в целом. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату:

$$K_{накл} = K_{з/пл} \cdot 2. \quad (8)$$

$$K_{накл} = 123143 \cdot 2 = 246286 \text{ руб.}$$

Таким образом суммарные затраты на проект составили:

$$K_{эк.ис} = 1000 + 1768,9 + 123143 + 36942,9 + 16285,5 + 246286 = 425426,3 \text{ руб.}$$

Итоговую смету затрат на выполнения проекта сведем с таблицу 10.2.

Таблица 10.2 – Смета затрат на разработку проекта

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация	1768,9
3	Затраты на заработную плату	123143
4	Затраты на социальные нужды	36942,9
5	Прочие затраты	16285,5
6	Накладные расходы.	246286
Итого		425426,3

Выполнено экспериментальное исследование условий и характеристик зажигания каменных и бурых углей, широко применяемых в теплоэнергетике в качестве основного топлива. Исследования выполнены в условиях нагрева мелкодисперсных частиц угля в муфельной печи. Такие условия аналогичны условиям зажигания угольной пыли в муфельных горелках, применяемых при реализации перспективной технологии безмазутной растопки пылеугольных котлов. Эта технология по сравнению с широко распространенной в настоящее время технологией растопки пылеугольных котлов путем сжигания жидкого топлива характеризуется положительными экономическими и экологическими показателями.

Исследование процессов зажигания выполнено в широком диапазоне варьирования температуры окружающей среды 400–1000 °С для нескольких марок энергетических углей разной дисперсности: 40, 140, 250 мкм.

Установлены минимальные температуры, необходимые для зажигания мелкодисперсных частиц угля, а также зависимости основной характеристики процесса – времени задержки зажигания от температуры

окружающей среды. Для полученных зависимостей приведены аппроксимационные выражения.

Результаты экспериментов являются основой для прогнозирования условий и характеристик зажигания угольной пыли, а также для обоснования размеров муфельных горелок при проведении опытно-конструкторских работ и оптимизации режимов их функционирования в условиях растопки котла и подсветки факела.

10.3 Технико-экономическое обоснование проекта

В соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов» в нашей стране учет внешних факторов, к которым относятся также экологические затраты, осуществляется при расчете показателей эффективности проектов [57].

При разработке, последующей реализации инвестиционных проектов и при оценке эколого-экономической эффективности обязательно учитывается воздействие объекта автоматизации на окружающую среду. К таким воздействиям принято относить:

- выбросы загрязняющих веществ в воздушную среду;
- сбросы вредных, загрязняющих веществ в водную среду и т.д.

К предотвращению экологического ущерба приводит обусловленное снижение объемов вредного воздействия на окружающую среду в результате уменьшения выбросов, отходов и сбросов токсичных веществ объектом.

Экономия текущих затрат предприятия объясняется сокращением выплат за загрязнение природной среды и затрат по транспортировке, хранению мазута в специальных хранилищах.

Повышенное внимание к экологическому аспекту энергетики России способствовало принятию таких законов, как «Об охране атмосферного воздуха» (1999 г.) и «Об охране окружающей среды» (2002 г.) [58]. В данных законах были введены впервые в практику природоохранной деятельности в

законодательном порядке понятия «экологической нагрузки на природную среду» и «экологических и технических нормативов». Как уже отмечалось, при дальнейшем использовании мазута в топливном балансе энергетики ожидается существенное увеличение экологических проблем и ужесточение экологических требований к разрабатываемым инновационным экологически чистым энергетическим технологиям.

Основные показатели экологической эффективности представлены в ГОСТ Р ИСО 14031-2001 «Экологический менеджмент – оценивание экологической эффективности. Общие требования».

В данной работе представлен этап использования твердого натурального топлива на примере условной группы действующих ТЭС, которые в качестве топлива используют бурый уголь.

Необходимо доказать целесообразность внедрения АСУ ТП путем подсчета стоимости проекта.

Уголь является одним из основных источников энергии и во всем мире уделяется большое внимание проблеме его эффективного, экономически чистого сжигания, на рисунке 10.1 отображена доля угля в запасах ископаемых топлив.

По сравнению с другими энергоресурсами запасы угольного топлива приблизительно в 4 раза превышают запасы нефти (примерно на 42 года) или запасов газа (примерно на 67 лет) [59].

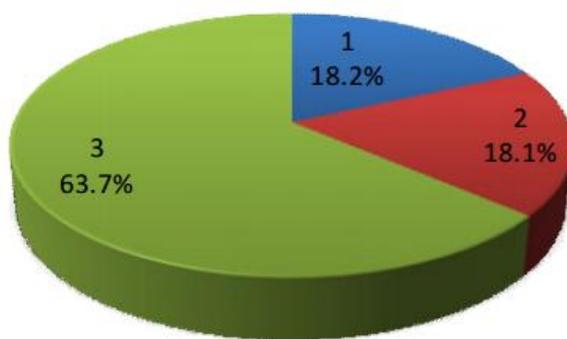


Рисунок 10.1 – Мировые разведанные запасы ископаемых топлив [59]: 1 – нефть; 2 – газ; 3 – уголь

Энергетика многих стран сейчас направлена на использование органического топлива, главным образом низкосортных углей различных месторождений. Также можно отметить, что резкое снижение качества энергетических углей наблюдается повсеместно, и не только в России, но и в зарубежных странах. Активность использования угольного топлива за всю историю достаточно часто изменялась, но при этом даже сейчас остается одним из важнейших видов топлива для выработки энергии, а особенно электрической (рис. 10.2).

В ближайшем будущем ожидается увеличение использования угольного топлива. По прогнозам [60], к 2020 году доля угольного топлива в мировом балансе превысит 50 %.

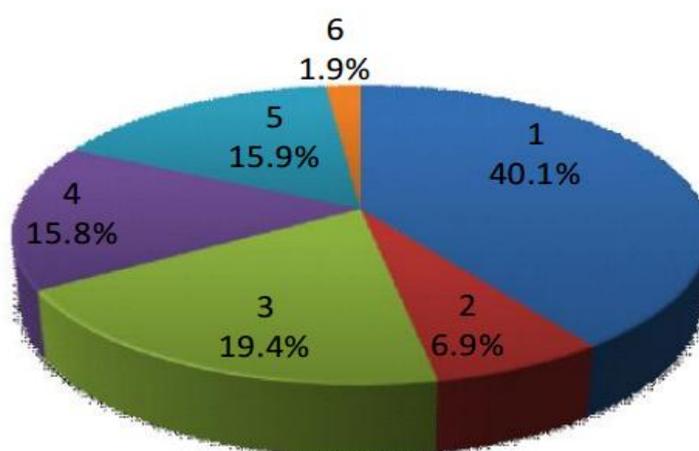


Рисунок 10.2 – Распределение энергоносителей по производству электроэнергии в мире [53]: 1 – уголь; 2 – жидкое топливо (мазут); 3–газ; 4 – атомная энергия; 5 – гидроэнергия; 6 – другие (солнечная, ветровая, геотермальная энергия, отходы, в том числе отходы растительного происхождения)

К тому же, для современного развития мировой тепловой энергетики свойственно сокращение использования дефицитного и дорогостоящего жидкого топлива (мазута), который является ценным сырьем для

нефтеперерабатывающей промышленности, и увеличение применения твердых натуральных топлив, качество которых постоянно снижается.

В мировой практике общепринято обогащать угольное топливо перед их сжиганием. Тем не менее, нельзя ожидать обогащения углей в объемах, которые необходимы для ТЭС РФ и стран СНГ, ввиду высокой стоимости этого процесса. К тому же, в результате процесса обогащения можно уменьшить зольность и влажность углей, тогда как увеличить реакционную способность, т.е. выход летучих (антрацит и тощие угли имеют выход летучих 4–12 %), путем обогащения невозможно.

Для улучшения процесса воспламенения и стабилизации горения угольного топлива с низким выходом летучих (низкосортные угли) и высокой зольностью существуют дополнительные мероприятия такие, как утонение помола угольных частиц (до $R_{90} = 6-8\%$), подогрев аэросмеси (до 150 °С) и вторичного воздуха (до 400 °С), подача мелкодисперсного пылеугольного топлива высокой концентрации (до 50 кг/кг).

На розжиг пылеугольных паровых котельных агрегатов из холодного или горячего состояния, подхват и стабилизацию горения факела расходуется более 50 млн. т. мазута.

На станциях растопка паровых котлов (время растопки составляет примерно 3–14 ч) производится несколько раз в год (в среднем до 15 и более пусков каждый год на один котельный агрегат) [61], подсветка пылеугольного факела проводится периодически при снижении нагрузки, а также при потускнении факела. Для паровых котлов с различной производительностью пара в соответствии с инструкцией по их эксплуатации тратится разное количество мазута (табл. 10.1).

Таблица 10.1 – Расход мазута на растопку котлов различной паропроизводительности [62]

Паропроизводительность котла, т/ч	Расход мазута на 1 растопку, т
50–75	3–6
160–200	10–25
220–420	30–80
640–670	80–100
950	100–140
1650	150–250
2650	250–350

При выполнении расчетов рассматривались следующие изменения затрат и налогов, которые произойдут на предприятии вследствие внедрения безмазутной системы для пылеугольного котлоагрегата типа БКЗ-420-140:

- 1) снижение затрат на топливо и обслуживание подсистем хранения и подачи жидкого топлива;
- 2) снижение затрат за негативное воздействие на окружающую среду (твердые вещества, мазутная зола, диоксид серы и азота, оксид углерода);
- 3) рост дополнительных затрат электрической энергии на собственные нужды (например, размол угля);
- 4) снижение затрат предприятием на приобретение топлива.

10.3.1 Расчет снижения платы за выбросы загрязняющих веществ

При переводе пылеугольных котлов на безмазутный розжиг резко возрастает эффективность работы котельных агрегатов за счет сокращения выбросов оксидов серы. Это объясняется тем, что в настоящее время при процессе растопки паровых котлоагрегатов используют высокосернистый мазут ($S = 3,5 \%$), в то же время бурый уголь имеет около $0,304 \%$ серы. К тому же, по данным ВТИ более 50% серы при сжигании канско-ачинских бурых углей связывается в потоке дымовых газов летучей золой, которая имеет достаточно высокое содержание оксидов магния и кальция [63]. Расчет

выбросов оксидов серы осуществлен в соответствии с РД 34.02.305 98. Суммарное количество оксидов серы M_{SO_2} (т/с, т/мес., т/год, и т.д.), которое выбрасывается в атмосферу с дымовыми газами, было вычислено по следующей формуле:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{SO_2})(1 - \eta''_{SO_2})(1 - \eta^c_{SO_2} \cdot \frac{n_0}{n_k}) \quad (4)$$

где B – расход топлива на рассматриваемый период, г/с (т/год);

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

η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котлоагрегате;

$\eta''_{SO_2} = 0$ – доля оксидов серы, которые улавливаются в мокром золоуловителе с твердыми частицами;

$\eta^c_{SO_2} = 0$ – доля оксидов серы, улавливаемых в сероулавливающей установке;

n_0 и n_k – длительность работы сероулавливающей установки и котла соответственно, ч/год.

Количество угольного топлива, которое замещает одну тонну мазута:

$$n_{\text{замещен}} = 2,1 \text{ т/т.}$$

Количество серы в замещающем количестве угольного топлива:

$$G_{\text{замещен}} = (n_{\text{замещен}} \cdot S_{\text{л}}^p) / 100 = (2,1 \cdot 0,304) / 100 = 0,00631 \text{ т} = 6,3 \text{ кг.} \quad (5)$$

Полное количество серы в замещающем количестве бурого угля равно:

$$G_{\text{замещен}} = G_{\text{замещен}}(1 - \eta'_{SO_2}) = 6,3 \cdot 0,8 = 5,04 \text{ кг.} \quad (6)$$

Содержание серы в высокосернистом мазуте составляет $S_{\text{л}}^p = 3,5$ %.

При процессе сжигания одной тонны мазута в топочную камеру парового котла поступает:

$$G_s = (S_{\text{л}}^p / 100) \cdot 1000 = (3,5 / 100) \cdot 1000 = 35 \text{ кг/т.} \quad (7)$$

Снижение количества сжигаемой серы при замещении мазута бурым углем:

$$G_{\text{ум}} = 35 - 5,04 = 29,96 \text{ кг/т мазута.} \quad (8)$$

Расход на растопку мазута одного парового котла типа БКЗ-420-140 составляет около 300 т в год. При сжигании 1 кг жидкого топлива (мазута) выделяется 2 кг SO₂.

Годовые выбросы оксидов серы при розжиге котла мазутом составляют:

$$G_{SO_2} = 35 \cdot 2 \cdot 300/1000 = 21 \text{ т.} \quad (9)$$

Сокращение годовых выбросов оксидов серы при переводе котлоагрегатов на безмазутный розжиг составит:

$$\Delta G_{SO_2\text{сокp}} = 29,66 \cdot 2 \cdot 300/1000 = 17,8 \text{ т.} \quad (10)$$

Ежегодная экономия в издержках для одного пылеугольного котла типа БКЗ-420 в результате сокращения выбросов вредных веществ в воздушную среду в пределах ПДК и сверх установленных лимитов может составить:

$$П = п \cdot k_э \cdot k_и \cdot \Delta G_{SO_2\text{сокp}}. \quad (11)$$

где п – нормативная плата за год в руб. [64];

$k_э$ – коэффициент экологической ситуации определенного региона, в данном случае выбран Красноярский край;

$k_и$ = 45,4 – инфляционный коэффициент по отношению к нормативу платы;

$$П = 17,8 \cdot 45,4 \cdot 1,68 \cdot 1,28 = 1737,8 \text{ руб.}$$

Кроме нормативной платы существуют временно-согласованная плата (плата в 5 раз больше нормативной платы) и сверхнормативная (плата в 25 раз выше нормативной) за выбросы, которые превышают предельно-допустимые.

$$1) \quad П = 45,4 \cdot 5 \cdot 1,68 \cdot 17,8 \cdot 1,28 = 8688,9 \text{ руб.}$$

$$2) \quad П = 45,4 \cdot 25 \cdot 1,68 \cdot 17,8 \cdot 1,28 = 43444,5 \text{ руб.}$$

Таким образом, при растопке котлов, оборудованных вихревыми пылеугольными горелками, происходит сокращение выбросов оксидов серы на 84,7 %:

$$G_{SO_2\text{сокp}} = \left(\frac{17,8}{21} \right) \cdot 100 = 84,7 \%. \quad (12)$$

10.3.2 Расчет основных выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании мазута и твердого топлива

Рассчитаем выбросы вредных веществ в атмосферу при растопке пылеугольного котла типа БКЗ-420-140 бурым углем. Для процесса безмазутной растопки данного котла требуется 630 т угля. Теплотехнические характеристики бурого угля:

- низшая теплота сгорания угля $Q_H = 23,36$ МДж/кг;
- зольность угля (на рабочую массу) $A^d = 13,85$ %;
- содержание серы (на рабочую массу) $S^{daf} = 0,304$ %.

Паропроизводительность котлоагрегата равна 420 т/ч.

В атмосферу при сжигании твердого топлива выбрасываются: диоксиды серы, углерода и азота, оксид углерода и твердые частицы.

Расчет выбросов твердых частиц в дымовых газах:

$$M_T = A^d \cdot \chi \cdot m \cdot \left(1 - \frac{n_T}{100}\right). \quad (13)$$

Безразмерный коэффициент χ , для топки одного парового котла равен 0,0019, при использовании электрофильтров $\eta_T=0,97$.

$$M_T = 13,85 \cdot 0,0019 \cdot 630 \cdot \left(1 - \frac{0,97}{100}\right) = 16,6 \text{ т/год.}$$

Расчет выбросов оксидов углерода:

$$M_{CO} = C_{CO} \cdot m \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3}. \quad (14)$$

Потери теплоты вследствие механической и химической неполноты сгорания угольного топлива в данном случае равны $q_4=3$ % , $q_3=2$ % , $R=1$ для твердого натурального топлива.

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H = 2 \cdot 1 \cdot 23,36 = 46,72 \text{ кг/т.} \quad (15)$$

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 46,72 \cdot 630 \cdot \left(1 - \frac{3}{100}\right) = 28,6 \text{ т/год.}$$

Расчет выбросов оксидов азота при растопке:

$$M_{NO_2} = m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} (1 - \beta) \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

где $K_{NO_2}=1,61$ кг/ГДж; $\beta=0$.

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 630 \cdot 23,36 \cdot 1,61 \cdot (1 - 0) = 23,7 \text{ т/год.}$$

Расчет выбросов оксиды серы:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot m \cdot S \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}). \quad (17)$$

где η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлив, для углей равна 0,1;

η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе, равна 0.

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 630 \cdot 0,304 \cdot (1 - 0,1) = 3,45 \text{ т/год.}$$

Расчет количества диоксида углерода:

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot C_{CO_2} \cdot m \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right). \quad (18)$$

Потери теплоты вследствие механической и химической неполноты сгорания топлива в данном случае равны $q_4=3$ % , $q_3=2,7$ % , $R=1$ – для твердого натурального топлива.

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H = 2,7 \cdot 1 \cdot 23,36 = 63,07 \text{ кг/т.} \quad (19)$$

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot 63,07 \cdot 630 \cdot \left(1 - \frac{3}{100}\right) = 38,54 \text{ т/год.}$$

Результаты расчета выбросов при розжиге котла углем представлены в таблице 10.2.

Таблица 10.2 – Выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании угля

Ед. изм.	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу				
	SO ₂	CO	CO ₂	NO ₂	Твердые вещества
т/год	3,45	28,6	38,54	23,7	16,6

В таблице 10.3 приведены затраты за выбросы вредных веществ при растопке котла на угле.

Таблица 10.3 – Плата за негативное воздействие на окружающую среду при безмазутной растопке пылеугольного котла

Вредные вещества	Плата за выбросы, руб.
SO ₂	223 377,13
CO	65 260,51
CO ₂	358 921,21
NO ₂	283 662,20
Твердые вещества	21 614,65
Итого	949 835,7

Также произведем расчет выбросов вредных веществ в атмосферу, удаляемых с дымовыми газами при растопке котла (300 т/год) мазутом со следующими характеристиками:

- низшая теплота сгорания $Q^H = 42$ МДж/кг;
- содержание серы $S^{daf} = 3,5$ %;
- зольность $A^d = 0,1$ %.

В атмосферу при процессе сжигания жидкого топлива (мазута) с дымовыми газами выбрасываются: оксиды углерода, серы и азота и мазутная зола.

Расчет валового выброса мазутной золы в пересчете на ванадий:

$$M_v = 10^{-3} \cdot q_v \cdot m \cdot (1 - n_{oc}) \cdot (1 - n_y). \quad (20)$$

Содержание оксидов ванадия в мазуте:

$$q_v = 95,45 \cdot 3,5 - 31,6 = 302,7 \text{ кг/т}. \quad (21)$$

n_{oc} , n_y - коэффициенты оседания и улавливания оксидов ванадия ($n_{oc}=0$, $n_y=0$).

$$M_v = 10^{-3} \cdot 302,7 \cdot 300 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 9,08 \text{ т/год}.$$

Расчет выбросов оксидов углерода:

$$M_{CO} = C_{CO} \cdot m \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3}. \quad (22)$$

Потери теплоты вследствие механической и химической неполноты сгорания топлива в данном случае равны $q_4=0$ % , $q_3=1,5$ % , $R = 0,65$ – для мазута.

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H = 1,5 \cdot 0,65 \cdot 42 = 40,95 \text{ кг/т}. \quad (23)$$

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 40,95 \cdot 300 \cdot (1 - 0) = 12,3 \text{ т/год.}$$

Расчет выбросов оксидов азота:

$$M_{NO_2} = m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} (1 - \beta) \cdot 10^{-3}. \quad (24)$$

$K_{NO_2} = 1,61 \text{ кг/ГДж; } \beta = 0.$

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 420 \cdot 42 \cdot 1,61 \cdot (1 - 0) = 28,4 \text{ т/год.}$$

Расчет выбросов диоксида серы:

$$M_{SO_2} = 21 \text{ т/год.}$$

Расчет количества диоксида углерода:

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot C_{CO_2} \cdot m \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right). \quad (26)$$

Потери теплоты вследствие механической и химической неполноты сгорания топлива в данном случае равны $q_4 = 2 \%$, $q_3 = 1,5 \%$, $R = 0,65$ – для мазута.

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H = 15 \cdot 0,65 \cdot 42 = 409,5 \text{ кг/т.} \quad (27)$$

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot 409,5 \cdot 300 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 120,3 \text{ т/год.}$$

Результаты расчета выбросов при розжиге котла мазутом представлены в таблице 10.4. А в таблице 10.5 приведены затраты за выбросы вредных веществ при растопке котла на мазуте.

Таблица 10.4 – Выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании мазута

Ед. изм.	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу				
	SO ₂	CO	CO ₂	NO ₂	Мазутная зола
т/год	21	12,3	120,3	28,4	9,08

Таблица 10.5 – Плата за негативное воздействие на окружающую среду

Вредные вещества	Плата за выбросы, руб.
SO ₂	1 359 686,91
CO	58 066,56
CO ₂	477 754,45
NO ₂	339 915,87
Мазутная зола	103 751,40
Итого	2 339 175,20

Суммарная экономия от предотвращенного экологического ущерба составляет $\Delta = 1\,389\,340,19$ руб./год или 59,4 %.

10.3.3 Расчет снижения затрат на приобретение топлива при замещении мазута углем в условиях растопки котла БКЗ-420-140

1. Теплота сгорания мазута – 42 МДж/кг (для высокосернистого мазута марки М100);
2. Теплота сгорания бурого угля – 20 МДж/кг;
3. Для замены одной тонны жидкого топлива (мазута) необходимо следующее количество бурого угля:

$$G_{\text{к.у.}} = 42/20 = 2,1 \text{ т.} \quad (28)$$

4. Цена мазута (с НДС и доставкой):

$$C_{\text{м}} = 11330 \text{ руб./т.}$$

5. Цена бурого угля без НДС (для типичного бурого угля марки «БЗ», с НДС и доставкой ж/д транспортом):

$$C_{\text{уг}} = 2500 \text{ руб./т.}$$

6. Сокращение затрат на одну тонну замещаемого мазута:

$$\Delta Z = (11330 - 2,1 \cdot 2500) = 6080 \text{ руб./т.} \quad (29)$$

7. Годовой расход мазута одного котла БКЗ-420-140 (данные Красноярской ТЭЦ-2):

$$V_{\text{мазута}} = 300 \text{ т/год.}$$

8. Снижение годовых затрат на приобретение энергоресурсов для одного котельного агрегата типа БКЗ-420 при максимальном замещении мазута составит:

$$\Delta Z_{\text{топл}} = \Delta Z \cdot V_{\text{мазута}} = 6080 \cdot 300 = 1\,824\,000 \text{ руб./год.} \quad (30)$$

10.3.4 Расчет дополнительных затрат на электроэнергию при безмазутной растопке котла и на поддержание мазутного хозяйства

Дополнительный расход электроэнергии на размол, транспортировку и осушение угля, замещающего мазут:

- 1) удельный расход электроэнергии на размол угля – 17,6 кВт·ч/т;
- 2) себестоимость 1 кВт·ч при внедрении безмазутной системы растопки котла составляет 1,6 руб./кВт·ч;

- 3) дополнительные затраты на электрическую энергию составят:

$$U_{э/э} = 1,6 \cdot 17,6 \cdot 300 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = 17,7 \text{ тыс. руб.} \quad (31)$$

- 4) удельный расход электроэнергии на транспортировку составляет 88 кВт·ч/т;

$$U_{э/э} = 1,6 \cdot 88 \cdot 300 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = 88,7 \text{ тыс. руб.} \quad (32)$$

Суммарные затраты использования мелкодисперсного угольного топлива для растопки одного пылеугольного котла $I_M = 106,4$ тыс.руб.

Рассмотрим для сравнения годовые затраты на оплату энергетических ресурсов [65], потребляемых в процессе поддержания мазутного хозяйства станции. Расходы (I_M) рассчитывались с учетом мощности технологического оборудования данной системы и себестоимости электроэнергии 1,6 руб. за 1 кВт ч.

При хранении мазута с температурой 40 °С затраты на компенсацию теплопотерь составляют 302,3 тыс.руб./год [66].

Для подачи мазута в подогреватели обычно используют три насоса, потребляемая мощность каждого отдельного электродвигателя составляет 200 кВт. Таким образом, дополнительные расходы на электрическую энергию составят:

$$U_{э/э} = 1,6 \cdot 200 \cdot 3 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 288,1 \text{ тыс. руб.} \quad (33)$$

Суммарные затраты на хранение жидкого топлива для растопки одного пылеугольного котла типа БКЗ-420-142 составят $I_M = 590,4$ тыс.руб.

В таблице 10.6 приведены суммарные дополнительные затраты электроэнергии на размол угля и расходы на поддержание мазутного хозяйства.

Таблица 10.6 – Дополнительные затраты на поддержание систем

Затраты при безмазутной растопке (замена мазута углем ультратонкого помола)	Затраты на поддержание мазутного хозяйства
106,4 тыс.руб.	590,4 тыс.руб

В таблице 10.7 приведены основные суммарные затраты при использовании мазута и угля для процесса растопки пылеугольного парового котла.

Таблица 10.7 – Суммарные затраты на поддержание систем

Характеристика	Уголь	Мазут	Экономия
Экология, руб.	949 835,7	2 339 175,2	1 389 340,19
Покупка топлива, руб.	1 575 000	3 399 000	1 824 000
Подготовка и подача топлива, руб.	106 400	590 400	484 000
Итого, руб.	2 631 235,7	6 328 575,2	3 697 339,5

Увеличение стоимости мазута, как ранее отмечалось, делает нецелесообразным его использование при процессе растопки пылеугольных котлов теплоэлектростанций. С 2012 г. по 2017 г. статистические данные в динамике цен на основные энергоносители приведены на рисунке 10.3 [67].

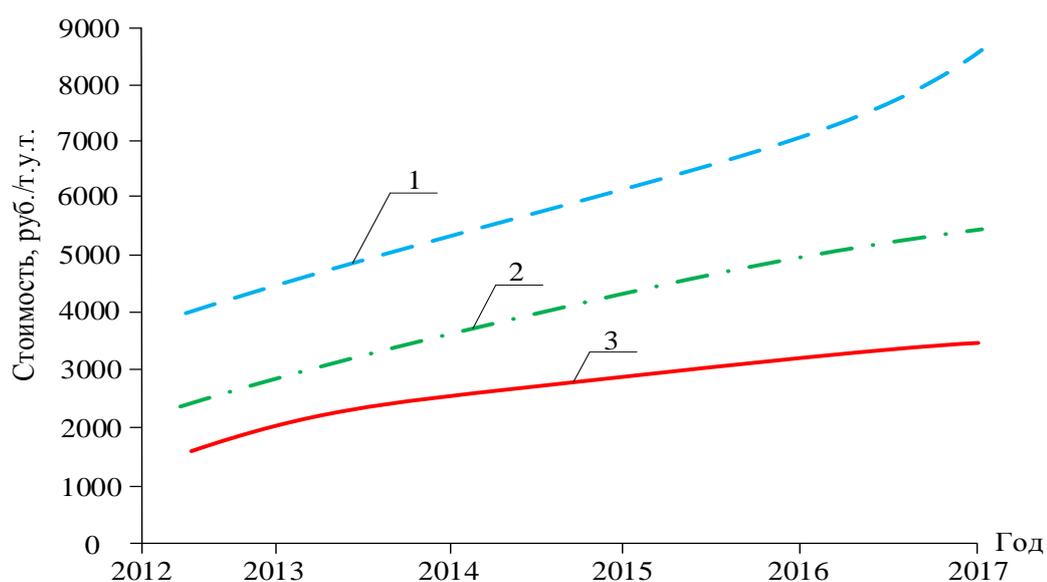


Рисунок 10.3 – Динамика цен на энергоносители по прогнозу Минэкономразвития, руб./т.у.т: 1 – мазут; 2 – газ; 3 – уголь

Оценка реализуемости альтернатив с точки зрения рассмотренного фактора:

- 1) продолжение текущей ситуации, т.е. потребление мазута невозможно из-за роста цен на мазут;
- 2) перевод котлов на уголь - возможно, уголь наиболее дешевое топливо с наименьшим темпом роста цен.

На основании динамики роста цен с 2012–2017 г. выполнен прогноз их изменения до 2025 г., представленный в таблице 10.8. Результаты показывают, что реализация угольной альтернативы становится наиболее привлекательной и эффективной.

Таблица 10.8 – Затраты на приобретение топлива (с учетом транспортировки) для процесса растопки котла

Годы	Уголь, руб.	Мазут, руб.
2018	1 681 400	3 389 400
2019	1 715 028	3 445 380
2020	1 748 656	3 501 360
2021	1 782 284	3 557 340
2022	1 815 912	3 613 320
2023	1 849 540	3 669 300
2024	1 883 168	3 725 280
2025	1 916 796	3 781 260
Итого	14 392 784	28 682 640

С 2018 г. по 2025 г. может быть сэкономлено 14 289 856 руб., данные средства могут быть использованы для модернизации основного энергогенерирующего или вспомогательного оборудования станции и внедрения современных технологий.

Строительство и монтаж системы безмазутной растопки будет составлять около 6 месяцев от начала разработки проекта при финансово-экономической оценке на один котел типа БКЗ-420-140.

Рассматриваемая продолжительность проекта (жизненный цикл) составляет 10 лет.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ6Д	Чебочаковой Диане Анатольевне

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Магистратура	Направление подготовки	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования и области его применения	Тема работы «Автоматизированная система контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла». Объектом исследования является пылеугольный котел типа БКЗ-420-140. Возможные вредные факторы производственной среды: шум; вибрация; выбросы вредных веществ в атмосферу с дымовыми газами. Возможные опасные факторы производственной среды: поражение электрическим током; механические опасности; опасность работ на высоте; пожаро- и взрывоопасность.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность.	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – опасность, обусловленная шумами и вибрацией технологического оборудования; – недостаточное освещение в вечернее и ночное время суток; – повышенная температура поверхностей, оборудования и материалов (высокая температура в топочной камере котла), нагревание поверхностей материалов, опасность получения ожогов; – движущиеся машины и механизмы; – неблагоприятный климат. <p>Воздействие факторов на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> – головные боли; – тепловой удар; – воспаление мышц и нервных окончаний; – нарушение водно-электролитного обмена. <p>Допустимые нормы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – на шум 99-74 дБ (согласно ГОСТ 12.1.003.83); – на освещение не менее 50 лк (СНиП 23-05-95); – при неблагоприятном климате ограничение на физические работы при температуре наружного воздуха менее минус 40 или более 50 без средств индивидуальной защиты (СанПиН 2.2.3.1384-03). <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> – каски строительные; – перчатки прорезиненные; – утепленная спецодежда в холодное время года и проветриваемая в теплое время года; – респираторы; – пылезащитные очки. <p>Механические опасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – машины и машинные механизмы (проблесковые огни и спикеры на технике, светоотражающие ленты на спецодежде);
-----------------------------------	--

	<p>– инструменты для подготовки труб к свариванию (монтажные перчатки).</p> <p>Термические опасности:</p> <p>– сварочный аппарат (перчатки, спецодежда).</p> <p>Электробезопасность:</p> <p>– использование проводников тока с удлинителями и розетками не ниже стандарта IP54;</p> <p>– электрощит (изолирующий инструмент, диэлектрические перчатки, изолирующие шланги и клещи);</p> <p>– заземление корпуса строительной будки.</p> <p>Пожаровзрывобезопасность:</p> <p>– Искры от электро-оборудования или электро-систем (проверка оборудования, тестовый запуск системы, отдаление легко воспламеняемых материалов)</p> <p>– возгорание техники (огнетушители, коробки с песком).</p>
2. Охрана окружающей среды.	При растопке парового пылеугольного котла происходят выбросы (твердых и газообразных веществ), которые загрязняют воздушную среду. Для улучшения экологической обстановки будут разработаны методы по минимизации воздействий на экологию, а также методы по улучшению экологической обстановки на территории предприятия и в его окрестностях.
3. Защита в чрезвычайных ситуациях.	Основной ЧС – возникновение пожара на станции. Порядок действий в случае возникновения пожара в здании: сообщить о возгорании в управление МЧС; оценить обстановку; двигаться к ближайшему запасному выходу; ориентироваться по лампам аварийного освещения; выйти из здания и удалиться от него на безопасное расстояние. Также при возникновении ЧС срабатывает ряд автоматических защит и блокировок установки, при которых окружающая среда изолируется от факторов, опасных для здоровья человека.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	К таковым можно отнести: – выявление, прогнозирование и предупреждение угроз; – создание и поддержания сил и средств обеспечения безопасности.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	Василевский Михаил Викторович	К.Т.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6Д	Чебочакова Диана Анатольевна		

11 Социальная ответственность

Введение

В данной работе разрабатывается автоматизированная система контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла типа БКЗ-420-140.

Разработанная автоматизированная система может применяться для использования в современных котлах, как замена существующим системам растопки на жидком топливе. Благодаря ее использованию, появляется возможность использовать в качестве топлива мелкодисперсное угольное топливо.

Понятие социальной ответственности для предприятий предусматривает высокий уровень добровольного отклика на социальные потребности рабочего персонала, определяющиеся законами, нормами и законодательными требованиями.

Под индивидуальной ответственностью понимается, что люди сами несут ответственность за результаты своей деятельности и своих проектов. Под корпоративной социальной ответственностью (КСО, также называемая корпоративная ответственность, ответственный бизнес и корпоративные социальные возможности) понимается концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы. Это обязательство выходит за рамки установленного законом обязательства соблюдать законодательство и предполагает, что организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников и их семей, а также местного сообщества и общества в целом.

Котельные агрегаты должны поддерживать высокую надежность обеспечения паром потребителя, так как на промышленных объектах осуществляются сложные технологические процессы. Это является

причиной работы станции в летний период как минимум с двумя котельными агрегатами и паровыми турбинами.

Применение мазута характеризуется проблемами технического характера, связанными с безопасной работой поверхностей нагрева и экологическими показателями, которые связаны с увеличением содержания оксидов серы и азота в дымовых газах.

Все это заставляет задуматься о переходе с жидкого топлива (мазута) при розжиге на эквивалентное по тепловыделению пылеугольное топливо.

При работе с оборудованием, установленным около котельных агрегатов, может присутствовать ряд опасных и вредных факторов:

- опасность поражения электрическим током;
- опасность механического травмирования;
- опасность термического травмирования;
- опасность возникновения возгораний и пожаров;
- метеорологические условия работы в помещениях;
- недостаточное производственное освещение.

Вредные факторы: повышенный уровень шума и вибрации, утечки вредных веществ внутри производства, монотонный режим работы, отклонения показателей микроклимата, недостаточная освещенность.

Опасные факторы: электрический ток, низкий уровень пожарозащиты.

11.1 Производственная безопасность

11.1.1 Анализ вредных факторов и их устранение

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке или эксплуатации автоматизированной системы контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла. Опасные и вредные факторы при выполнении работ сведены в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы	
	Вредные	Опасные
Полевые работы: 1) подготовка опытных образцов к нагреву; 2) осуществление настройки оптимальных параметров работы системы; 3) нагрев опытных образцов; 4) обработка полученных результатов эксперимента и подготовка отчета на компьютере.	1) превышение уровней шума и вибрации; 2) повышенная загазованность воздуха рабочей среды; 3) монотонность труда; 4) недостаточная освещенность рабочей зоны; 5) умственное перенапряжение.	1) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2) повышенное электрическое напряжение; 3) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов.

11.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих при механических колебаниях в твердых, жидких и газообразных средах. Источником повышенного уровня шума при проведении работ по контролю и управлению безмазутной растопки котла являются мельничные и дутьевые вентиляторы, а также дымососы.

Шум отрицательно влияет на организм человека, и в первую очередь на его центральную нервную и сердечнососудистую систему. Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок в действиях работающего, снижается производительность труда. Воздействие шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться также причиной несчастного случая. Воздействие шума с уровнем выше 140 дБ на организм человека приводит к разрыву барабанных перепонки и летальному исходу ГОСТ 12.1.003-2014 [68].

Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для

измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 60 дБА.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путем:

- изоляции источников шумов;
- проведения акустической обработки помещений лаборатории;
- наличие у человека шумоизоляционных наушников.

В ходе сжигания мелкодисперсного угольного топлива в топке котла возможны выделения различных вредных веществ. Неправильная вентиляция, или небольшое количество созданных отводов вредных веществ, могут привести к распространению вредных испарений по всей лаборатории, что ведет к отравлению и негативному влиянию на персонал. Устранение данного фактора возможно путем установки дополнительных вентиляторов в лаборатории, в которых непосредственно проходит работа с возможным выделением вредных веществ. Снижение влияния данного фактора также возможно при установке датчиков концентрации вредных веществ в лаборатории, и в случае утечек или аварий, слуховое и визуальное оповещение персонала.

11.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Среди технических требований к рабочему месту АРМ оператора особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения [69].

В соответствии с ГОСТ 12.1.046-2014 [70] электрическое освещение строительных площадок и участков подразделяют на рабочее, аварийное резервное, аварийное эвакуационное и охранное.

Рабочее освещение должно быть предусмотрено для всех строительных площадок и участков, где работы выполняют в ночное время и сумеречное

время суток, и осуществляется установками общего освещения (равномерного или локализованного) и комбинированного (к общему добавляется местное).

Общее равномерное освещение следует применять, если нормируемое значение освещенности не превышает 10 лк. В остальных случаях и в дополнении к общему равномерному должно предусматриваться общее локализованное освещение или местное освещение.

В целях комфортного перепада яркости, в поле зрения работающих, соотношение освещенностей зоны выполнения работ и периферийной зоны должно соответствовать значениям, приведенным в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Соотношение освещенности окружающего пространства и объекта по ГОСТ 12.1.046-2014

Освещенность зоны выполнения работ, лк	Освещенность периферийной зоны, не менее, лк
300	75
200	50
150	30
$50 \leq E_m \leq 100$	20
<50	Не нормируется

где E_m – минимальное значение освещенности.

Естественное освещение подразделяют на боковое, осуществляемое через световые проемы в наружных стенах; верхнее, осуществляемое через аэрационные и зенитные фонари, проемы в перекрытиях, а также через световые проемы в местах перепада высот смежных пролетов зданий; комбинированное, когда к верхнему освещению добавляется боковое.

По конструктивному исполнению искусственное освещение может быть двух систем – общее и комбинированное, когда к общему освещению добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах.

Общее освещение подразделяют на общее равномерное освещение (при равномерном распределении светового потока без учета расположения

оборудования) и общее локализованное освещение (при распределении светового потока с учетом расположения рабочих мест). Применение одного местного освещения внутри зданий не допускается.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на следующие виды: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное.

Рабочее освещение обязательно во всех помещениях и на освещаемых территориях для обеспечения нормальной работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение устраивают для продолжения работы в тех случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения (при аварии) и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования могут вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение работы таких объектов, как электрические станции, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения и другие производственные помещения, в которых недопустимо прекращение работ.

Эвакуационное освещение следует предусматривать для эвакуации людей из помещений при аварийном отключении рабочего освещения в местах, опасных для прохода людей, на лестничных клетках, вдоль основных для прохода людей, на лестничных клетках, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работает более 50 человек.

Для охранного освещения площадок предприятий и дежурного освещения помещений выделяют часть светильников рабочего или аварийного освещения.

В качестве индивидуальных средств точечного освещения в труднодоступных местах работники снабжаются светодиодными фонарями для крепления на каску.

11.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при монтаже и введении в эксплуатацию объекта исследования

11.2.1 Опасность механического травмирования

Источниками такого вида травм при монтаже автоматизированной системы контроля и управления процессом растопки котла:

- машины и машинные механизмы;
- неправильное обращение с инструментами;
- несоблюдение техники безопасности;
- отсутствие специальной защитной одежды (комбинезон, перчатки, ботинки, шапка).

К мероприятиям по предотвращению возможности получению механических травм можно отнести:

- установка звукового оповещения при работе и движении машинных механизмов;
- проведение инструктажей по технике безопасности при проведении строительного-монтажных работ;
- снабжение рабочего персонала спецодеждой.

11.2.2 Опасность термического травмирования

Также опасным фактором является высокая температура поверхностей газоздушных и топливных трактов котла, температура достигает до 300 °С. При случайном соприкосновении части тела человека с горячей поверхностью, можно получить серьезный ожог, что может привести к потере трудоспособности человека.

Мерами по предотвращению таких факторов являются работа в специализированной одежде установка металлические ограждения по всему периметру опасного участка. Рекомендуется повесить на ограждения таблички с надписью «Осторожно, высокая температура».

11.2.3 Опасность поражения электрическим током

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Безопасность обслуживания электрооборудования зависит от факторов окружающей его среды. С учетом этих факторов, а также их наличия или отсутствия, все помещения по опасности поражения электрическим током делят на три класса. Помещения, в которых расположены шкафы питания и связи, относятся к помещениям с повышенной опасностью, ввиду наличия в них токопроводящих полов. При этом отсутствуют другие факторы, такие как: токопроводящая пыль, влажность более 75%, высокая температура воздуха, длительно превышающей 30 °С, или периодически (более одних суток) 35 °С, или более 40 °С кратковременно; возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования, технологическим аппаратам.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести:

- при производстве монтажных работ необходимо использовать только исправный инструмент, аттестованный службой КИПиА;
- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены;
- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели должны быть запрещены;
- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал;
- необходимо постоянно следить за исправностью

электропроводки.

В случае поражения работающего электрическим током, пострадавшему необходимо оказать доврачебную помощь, для чего необходимо проделать следующие операции:

1) пострадавшего нужно немедленно освободить от действия электрического тока. Необходимо выключить питание, перерубить провода топором с сухой деревянной рукояткой, отвести с помощью диэлектрических предметов (сухая палка, ремень, верёвка) электрические провода. Оказывающий помощь должен стоять на сухой изолирующей подставке или резиновом коврик;

2) положить пострадавшего в удобное положение, освободить стесняющую одежду (расстегнуть ворот, пояс и т.п.), обеспечить приток свежего воздуха и при необходимости сделать непрямой массаж сердца и искусственное дыхание;

3) вызвать скорую помощь;

4) поставить администрацию, инженера по технике безопасности в известность о произошедшем случайном случае.

11.3 Экологическая безопасность

В ходе сжигания мелкодисперсного угольного топлива, возможны выбросы в окружающую среду вредных, и отрицательно влияющих на природу веществ.

Их воздействия на окружающую среду могут быть следующими:

- заражение воздуха в лаборатории;
- попадание на растительность, путем непосредственного заражения токсичными веществами;
- повреждение и загрязнение почвенного покрова.

Источником загрязнения гидросферы является сброс в канализацию остатков исследуемых материалов после влажной уборки помещений подготовки исследуемых образцов.

Источник загрязнения литосферы является отработавшие образцы исходных материалов с уходящими газами.

11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [71]. Согласно приведенному определению наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар на станции. Высокая вероятность пожара связана с использованием электроприборов при проведении исследовательской работы, в том числе и оборудования, работающего при высокой температуре (табл.11.3). Данная чрезвычайная ситуация является техногенной по характеру источника.

Таблица 11.3 – Источники возникновения чрезвычайной ситуации

Вероятный источник ЧС	Факторы возникновения ЧС
Дутьевые и мельничные вентиляторы	возможность короткого замыкания; возможность перегрева электродвигателей;
Топка котла	высокие температуры;
Компьютер	возможность короткого замыкания; возможность перегрева

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защитой. Понятие о пожарной профилактике включает комплекс мероприятий, необходимых для предупреждения возникновения пожара или уменьшения его последствий.

Под активной пожарной защитой понимаются меры, обеспечивающие успешную борьбу с возникающими пожарами или взрывоопасными ситуациями.

Профилактические методы борьбы с пожарами предусматривают:

- организационные: правильное содержание помещений, противопожарный инструктаж служащих, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д;
- технические: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании помещений, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- режимные: запрещение курения в не установленных местах, производство пожароопасных работ в помещении и т.д.;
- эксплуатационные: своевременные профилактические осмотры, ремонты оборудования.

Необходимо предусмотреть безопасную эвакуацию людей на случай возникновения пожара. При пожаре люди должны покинуть помещение в течение минимального времени. В соответствии с СНиП 11-2-80 число эвакуационных выходов из зданий, помещений должно составлять не менее двух.

Порядок действий в результате возникновения пожара:

- при возникновении чрезвычайной ситуации в первую очередь немедленно сообщить в пожарную охрану по телефону, указав при этом адрес возникновения происшествия;
- дать сигнал тревоги с помощью пожарной сигнализации и организовать эвакуацию людей из здания;
- приступить к самостоятельной ликвидации очага возгорания с использованием первичных средств пожаротушения, если это не угрожает жизни и здоровью;
- после ликвидации очага пожаротушения или в случае, если это сделать невозможно, приступить к эвакуации из здания, используя при

возможности ближайший эвакуационный выход, при возможности закрывая за собой двери, для сдерживания распространения пожара по зданию.

11.5 Организационные вопросы обеспечения безопасности

Наиболее правильная организация рабочего места позволяет значительно снять напряжённость в работе, уменьшить неблагоприятные чрезмерные нагрузки на организм и, как следствие, повысит производительность труда. Предметом эргономики является конкретная деятельность человека, использующего машины, а объектом исследования - система «человек - машина – среда».

При организации рабочего места следует выполнять требования эргономики. К эргономическим показателям трудового процесса относятся:

- гигиенические показатели: температура и влажность воздуха, состав воздуха рабочей зоны, освещенность рабочего места, шум и т. д.;
- антропометрические показатели, определяющие размеры тела человека и соответствующие им размеры, формы рабочих мест, органов управления и инструментов;
- физиологические показатели, которые определяют соответствие выполняемых человеком трудовых операций энергетическим, слуховым, зрительным и другим физиологическим возможностям человека;
- эстетические показатели, согласно которым производственное оборудование должно соответствовать требованиям технической эстетики.

При конструировании и размещении рабочих мест следует предусмотреть меры, предупреждающие или снижающие преждевременное утомление, предотвращающие возникновение психофизиологического стресса, а также появление ошибочных действий.

Рабочее место должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечить возможность удобного выполнения работ;
- учитывать физическую тяжесть работ;

- учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего;
- учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

11.6 Выводы по разделу

Система автоматизированного контроля и управления процессом безмазутной растопки позволит улучшить контроль технологического процесса, тем самым намного сократится риск аварийных и предаварийных ситуаций.

В данном разделе сделан анализ вредных и опасных факторов и их устранение. Для благоприятной работы оператора уровень шума не должен превышать 60 дБА. В помещениях должны быть установлены вентиляторы. Для адекватного восприятия оператором процесса работы системы необходимо соответствующее освещение, для производственных помещений, а также помещений, оборудованных ЭВМ, коэффициент естественного освещения не должен быть менее 2,1 %, а коэффициент пульсации освещенности не должен быть больше 5 %. Для обеспечения электробезопасности используется изоляция токопроводящих частей оборудования, знаки безопасности, специальные диэлектрические перчатки. Для незамедлительной ликвидации пожара в помещении обязательно устанавливаются различные виды средств пожаротушения: пожарные краны, огнетушители, наполнители с песком.

Автоматизированная система позволит использовать мелкодисперсное угольное топливо вместо мазута, тем самым существенно снизит выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Следует не забывать, что при разработке любой системы необходимо обязательно учитывать социальную ответственность, и все факторы, которые входят в нее. Формирование у индивида социальной ответственности перед

обществом и окружающей его средой обитания, а также необходимость выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий окружающего мира, является основной задачей, которая представлена в данном разделе. Халатное отношение к окружающей среде приводит к скоплению множество проблем, которые в дальнейшем невозможно решить достаточно быстро и без вреда для социальной сферы.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации было проведено экспериментальное исследование условий и характеристик зажигания разных марок бурых и каменных углей, а также древесного угля, который характеризуется высокой реакционной способностью. Как правило, каменные и бурые угли широко используются в качестве топлива на электростанциях. Исследования выполнены в условиях нагрева мелкодисперсного угольного топлива в муфельной печи в диапазоне варьирования температуры окружающей среды 400 – 1000 °С.

Для проведения исследований выполнен анализ современных методов исследования процессов зажигания и горения в топке котельных агрегатов. Экспериментальное исследование процесса зажигания образцов угля ультратонкого помола было проведено с использованием двух экспериментальных стендов.

Проанализировав результаты, полученные при проведении экспериментов, можно сделать вывод об основной закономерности – влиянии доли летучих в составе угля (V_{daf}) на интенсивность его зажигания при идентичных начальных условиях. Также было установлено, что чем выше содержание летучих, тем выше интенсивность физико-химических превращений. Зажигание мелкодисперсных частиц угольного топлива происходит при меньших по сравнению с крупными частицами температурах окружающего воздуха и при меньших задержках по времени.

На основе сформулированных требований разрабатывалась автоматизированная система контроля и управления процессом безмазутной растопки пылеугольного котла. Для возможной реализации АСУ ТП спроектированы структурная и функциональная схемы, составлена заказная спецификация приборов и средств автоматизации, также были разработаны принципиальная электрическая схема соединений, перечень элементов щита управления, общий вид шкафа управления.

К основным достоинствам разработанной автоматизированной системы контроля и управления можно отнести ее трехуровневый принцип организации, оснащение современным оборудованием и средствами автоматизации, минимизация участия диспетчеров в технологическом процессе и, конечно, возможность передачи информации на дальние расстояния.

Также проведена оценка экономической эффективности реализации данного проекта.

Список использованных источников

1. А.И. Цепенюк, Ф.А. Серант, И.Ю. Белоруцкий, А.Р. Квривишвили, О.И. Ставская и др. Разработка и внедрение муфельизированных предтопок для снижения технического минимума пылеугольных котлов // Горение твердого топлива. – Новосибирск: Изд-во Института теплофизики СО РАН, 2012.
2. Пояснительная записка №ЗКТ-ПКО.11/10.100000 ПЗ по проекту «Разработка системы муфельной подсветки котла БКЗ-420-140-6 ст.№3 Ново-Зиминской ТЭЦ». ЗАО «ЗиО-КОТЭС». Новосибирск, 2011г.
3. Муфельные горелки их конструкция и эксплуатация (сборник работ всесоюзного ордена трудового красного знамени теплотехнического научно-исследовательского института им. Ф.Э. Дзержинского). Под редакцией Н.Л. Ойвина. М.: Госэнергоиз-дат, 1947.
4. А.А. Макаров Проблемы и перспективы развития топливно-энергетического комплекса России // Энергоэффективность: Тезисы докладов Международной научно-техн. конф. (6–8 октября 2008 г., Киев, Украина). Киев: Институт газа НАНУ, 2008. – С. 7–10.
5. А.Б. Бирюков Сжигание и термическая переработка органических топлив. Твердое топливо: учебное пособие / А.Б. Бирюков, И.П. Дробышевская, Ю.Е. Рубан. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2014. – С.232.
6. Муфельные горелки, их конструкция и эксплуатация (сборник работ всесоюзного ордена трудового красного знамени теплотехнического научно-исследовательского института им. Ф.Э. Дзержинского). Под редакцией Н.Л. Ойвина. М.: Госэнергоиз-дат. – 1947.
7. В.А. Дубровский, Повышение эффективности энергетического использования углей Канско-Ачинского бассейна. Монография. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – С. 184.
8. В.Ф. Симонов, Н.В. Пономарева, М.А. Агеев Оптимизация систем глубокой очистки дымовых газов пылеугольных энергетических котлов //

Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2006. – № 9-10. – С. 55–62.

9. А.П. Бурдуков, В.И. Попов, О.И. Ломовский, Т.С. Юсупов Влияние механохимической активации на горение углей в факеле // Химия в интересах устойчивого развития. –2009. –№ 17. – С. 471–478.

10. В.Ф. Шабанов, В.Н. Кузнецов, М.Л. Щипко и др. Фундаментальные основы комплексной переработки углей КАТЭКа для получения энергии, синтез-газа и новых материалов с заданными свойствами. – Новосибирск.: Изд-во СО РАН, 2005. – С. 219

11. Ю.Н. Дубинский, А.П. Бурдуков и др. Об основном и резервном топливе для растопки пылеугольных котлов // Теплоэнергетика. – 2002. – № 3.– С. 127–130.

12. Е.И. Карпенко, М.Ф. Жуков, В.Е. Мессерле и др. Научно-технические основы и опыт эксплуатации плазменных систем воспламенения углей на ТЭС. – Новосибирск: Наука, Сибирское предприятие РАН. – 1998.

13. В.Н. Елин Технология плазменного розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах // Уголь. – 2011. – № 4. – С. 12-13.

14. Е.И. Карпенко, В.Е. Мессерле, Плазменно-энергетические технологии комплексного использования твердых топлив: Сб. докладов Международной научно-практической конференции «Переработка углей Канско-Ачинского бассейна в жидкие продукты». Красноярск: Катэк НИИ Уголь, 1996.

15. Е.И. Карпенко, В.Е. Мессерле, Введение в плазменно-энергетические технологии использования твердых топлив. Новосибирск: Наука – Сиб.изд. фирма РАН. – 1997.

16. Жуков М.Ф., Перегудов В.С. О плазменной технологии растопки котлов, работающих на пылеугольном топливе // Теплоэнергетика. –1996. – № 12. – С. 61–64.

17. Е.И. Карпенко, С.Л. Буянтуев, Ш.Ш. Ибраев, В.Е. Мессерле Плазмотермические процессы и аппараты в решении природоохранных задач. Улан-Уде: БНЦ СО РАН. – 1992.

18. В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. – М.: Энергоатомиздат. – 1986.
19. Разработка технических предложений по проектированию котла 500 т/ч с трехступенчатым сжиганием и системой сухой сероочистки активированной золой. – Красноярск: СибВТИ. – 1996.
20. Chernetskiy, M.Yu., Dekterev, A.A., Burdukov A.P., Hanjalic K. Computational modeling of autothermal combustion of mechanically-activated micronized coal, Fuel, 2014, 135, 443-458.
21. А.Н. Алеханов, В.В. Богомолов, Н.В. Артемьева / Совместное факельное сжигание биомасс с углем.
22. А.Н. Алеханов, В.В. Богомолов, Н.В. Артемьева, В.Е. Гладков Исследование шлакующих свойств смесей углей / Теплоэнергетика №8. С. 35-40.- 2000.
23. А.В. Гиль, А.С. Заворин, С.В. Красильников, С.В. Обухов, А.В. Старченко Исследование аэродинамики и горения в топке котла БКЗ-420-140 применительно к вариантам замещения проектного топлива // Известия Томского политехнического университета.- 2002.-Т.305.-№2.-С.152-157.
24. С.Г. Козлов, А.А. Безденежных, С.И. Корнейчук и др. Опытное сжигание непроектных углей на Омской ТЭЦ-4 // Минеральная часть топлива, шлакование, загрязнение и очистка котлов: Сб. докл. II научно-техн. конф. – Челябинск: Изд-во УралВТИ, 1996. – С. 13–24.
25. А.Ф. Гаврилов, Е.И. Гаврилов Экологические аспекты замещения экибастузского угля кузнецкими углями на ТЭС России // Теплоэнергетика. – 2004. – № 12. – С. 23–28.
26. Вагнер А.А. Комплексное повышение эффективности ступенчатого сжигания кузнецкого угля на котле с тангенциально направленными горелками и твердым шлакоудалением // Электрические станции. – 2004. – № 10. – С. 38 – 43.

27. А.П. Бурдуков, В.И. Попов, Т.С. Юсупов Использование механоактивированных углей микропомола в энергетике // Ползуновский вестник. – 2010. – № 1. – С. 93-98.
28. Т.С. Юсупов, Л.Г. Шумская, А.П. Бурдуков Активационное измельчение и глубокая деминерализация углей с целью повышения их реакционной способности // Горение и плазмохимия. – 2006. – Т.4. – №4. – С. 267-275.
29. Т.С. Юсупов, Л.Г. Шумская, А.П. Бурдуков Химическая деминерализация углей разных стадий метаморфизма // «ФТПРПИ» . – 2009. – № 4. – С. 111-119.
30. Видин Ю.В. Безмазутная растопка котлов // Наука производству. – 2000. – № 3. – С. 29.
31. Сеулин Н.А., Иванников В.М., Видин Ю.В. Перевод на безмазутную растопку котла БКЗ-420-140 // Электрические станции. – 1989. – №7. – С. 65–69.
32. Вербовецкий Э. Х., Котлер В.Р. Замена мазута углем при растопке и подсветке факела в пылеугольных котлах // Энергохозяйство за рубежом. – 1984. – № 1. – С. 16–17. 4
33. Сеулин Н.А., Видин Ю.В. Модернизация муфельных горелок // Промышленная энергетика. – 1988. – № 10. – С. 71–74.
34. В.Я. Путилов, А.М. Архипов, И.В. Путилова и др. Комплексное решение вопросов повышения экономической эффективности, экологической безопасности и кондиционирования свойств золошлаков ТЭС России при факельном сжигании углей в энергетических котлах // Золошлаки ТЭС. – 2010. – С. 38-42.
35. В.А. Дубровский Энергосберегающие системы растопки и подсветки факела топочных камер котлов: монография / В.А. Дубровский, М.В. Зубова. – Красноярск: СФУ. – 2012. – 187 С.

36. Э.Х. Вербовецкий, В.Р. Котлер Замена мазута углем при растопке и подсветке факела в пылеугольных котлах // Энергохозяйство за рубежом. – 1984. – № 1. – С. 16-17
37. Н.А. Сеулин, В.М. Иванников, Ю.В. Видин и др. Выбор запальных устройств для безмазутной растопки и стабилизации горения пылеугольных котлов // Энергетические станции. – 1994. – № 11. – С. 39-41.
38. А.В. Жуйков, Ю.В. Видин Модернизация безмазутной растопки и подсветки котельных агрегатов на Красноярской ТЭЦ-2// Промышленная энергетика. – 2006. – № 5. – С. 20-22.
39. Утович, В.А. Исследование плазменного розжига и стабилизации горения пылеугольного факела / В.А. Утович, Н.Л. Новиков, В.С. Перегудов и др. // Теплоэнергетика. – 1990. – № 4. – С. 20–23.
40. Chebochakova DA, Glushkov DO, Lyakhovskaya OE, Sukhanov SV. Ignition of coal dust from the Tomsk region Talovsky deposit by air flow, MATEC Web of Conferences 2015;23:article No. 01045.
41. Glushkov DO, Sharypov OV. Ignition of a coal particle at the low temperature of gas flow. EPJ Web of Conferences 2015;82: article No. 01045.
42. Glushkov, D. O. Ignition of promising coal-water slurry containing petrochemicals: analysis of key aspects / D. O. Glushkov, S. V. Syrodoy, A. V. Zhakharevich, P. A. Strizhak // Fuel Processing Technology. – 2016. – Vol. 148. – P. 224–235.
43. Дубровский В.А., Видин Ю.В., Деринг И.С., Зубова М.В., Евтихов Ж.Л. Схема безмазутной растопки котла. Патент РФ 2200905, кл. 7F 23K 1/04 А, 7F 23D 1/02 В, 2003.
44. А.В. Помазова Повышение коррозионной стойкости поверхностей нагрева котлоагрегатов за счет модификации режимов термической обработки труб из стали 20 // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – ТПУ.– Томск.–2017.
45. С.П. Титов Исследование образования NO_x из азота топлива при горении пыли каменных углей / С.П. Титов, В.И. Бабий, В.М. Барбараш //

Минеральная часть топлива, шлакование, загрязнение и очистка: Сб. докладов II научно-техн. конф. – Челябинск: Изд-во УралВТИ. – 1996. – С. 13–24.

46. С.Г. Козлов, Ю.В. А.А. Безденежных, С.И. Корнейчук и др. // Опытное сжигание непроектных углей на Омской ТЭЦ-4 // Промышленная энергетика. – 2006. – № 5. – С. 20–22.

47. А.В. Жуйков, Ю.В. Видин Модернизация безмазутной растопки и подсветки котельных агрегатов на Красноярской ТЭЦ-2// Промышленная энергетика. – 2006. – №5. – С. 20–22.

48. Разработка типовых технических решений по всережимной системе автоматического регулирования процесса горения газомазутных котлов, сжигающих два вида топлива: Технический отчет, - М.: ОРГРЭС, 1995.

49. Ким, Дмитрий Петрович.: Теория автоматического управления: учебник для вузов: в 2 т. / Д. П. Ким. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Физматлит, 2007. – 166 с.

50. Сеулин Н.А., Иванников Ю.В. Проблемы внедрения безмазутной растопки котлов, сжигающих Канско-Ачинские угли // Электрические станции. – 2000. – № 6. – С. 51–54.

51. Волошенко А. В., Горбунов Д. Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 109 с.

52. Cristiano V.da Silva, Maria Luiza S. Indrusiak, Arthur B. Beskow CFD Analysis of the Pulverized Coal Combustion Processes in a 160 MWe Tangentially-Fired-Boiler of a Thermal Power Plant/ Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. – 2010. – Vol.XXXII. – No.4. – P.427–436.

53. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования.

54. Концерн «Siemens AG». Каталог продукции 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens.com/ru/catalog/17.html> свободный. – Загл. с экрана.
55. ГОСТ 21.110-2013: Система проектной документации для строительства. Спецификация оборудования, изделий и материалов.
56. Дубровский В.А., Зубова М.В. Энергосберегающие системы растопки и подсветки факела топочных камер котлов. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 187 с.
57. Gaikwad P., Kulkarni H., Sreedhara S. Simplified numerical modelling of oxy-fuel combustion of pulverized coal in a swirl burner // *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 124. P. 734–745.
58. Tiwari H.P., Das A., Singh U. Novel technique for assessing the burnout potential of pulverized coals/coal blends for blast furnace injection // *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 130. P. 1279–1289.
59. Bazyn T., Krier H., Glumac N. Combustion of nanoaluminum at elevated pressure and temperature behind reflected shock waves // *Combustion and Flame*. 2006. Vol. 145, No. 4. P. 703–713.
60. ASTM D5373-14e1, Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
61. ISO 11722:1999, Solid mineral fuels – Hard coal – Determination of moisture in the general analysis test sample by drying in nitrogen.
62. ISO 1171:2010, Solid mineral fuel – Determination of ash.
63. Frank-Kamenetsky D.A. Diffusion and heat transfer in chemical kinetics. New York: Plenum, 1969. – 574 p.
64. Chernetskiy M.Y., Burdukov A.P., Butakov E.B., Anufriev I.S., Strizhak P.A. Using ignition of coal dust produced by different types of mechanical treatment under conditions of rapid heating // *Combustion, Explosion and Shock Waves*. 2016. Vol. 52, No. 3. P. 326–328.

65. World Energy Outlook 2017. International Energy Agency. 2017.
<http://www.iea.org>.
66. Annual Energy Outlook 2018. U.S. Energy Information Administration.
<http://www.eia.gov>.
67. Thorbjornsson A., Wachtmeister H., Wang J., Hook M. Carbon capture and coal consumption: Implications of energy penalties and large scale deployment // Energy Strategy Reviews. 2015. Vol. 7. P. 18–28.
68. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
69. Об охране окружающей среды: федеральный закон от 10 янв. 2002 г. № 7–ФЗ (ред. от 25 июня 2012 г. № 93–ФЗ) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2002. – № 2. – Ст. 133 ; 2012. – № 26. – Ст. 3446.
70. Об охране атмосферного воздуха: федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96–ФЗ (ред. от 25 июня 2012 г. № 93–ФЗ) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1999. – № 18. – Ст. 2222 ; 2012. – № 26. – Ст. 3446.
71. Об экологической экспертизе: федеральный закон от 23 нояб. 1995 г. № 174–ФЗ (ред. от 28 июля 2012 г. № 314–ФЗ) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1995. – № 48. – Ст. 4556 ; 2012. – № 31. – Ст. 4322

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Experimental study on ignition characteristics of pulverized coal under high-temperature oxidizer conditions

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6Д	Чебочакова Диана Анатольевна		

Консультант ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Стрижак П.А.	д.ф-м.н., профессор		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Исакова Ю.И.	к.т.н., доцент		

Contents

1. Introduction	98
2. Experimental investigation	100
3. Results and discussion	105
4. Conclusion	112
References	113

Introduction

Statistical information shows [1, 2] that the world consumption of thermal and electric energy is constantly growing.

Ignition is effected on pulverized coal boilers and the lighting the flame with stabilization combustion process in the event on a change characteristic of the fuel burned or a reduction in load by incorporating oil fuel burners.

The use of oil fuel is characterized by technical problems related to the safe operation of heating surfaces and environmental indicators, which are associated with an increase in sulfur and nitrogen oxides in flue gases.

These negative technological problems, high cost of oil fuel lead to the need reduce their consumption by stations, and to ensure the maximum possible use of solid fuel.

All this makes think about the transition from liquid fuel (oil fuel) when ignited to the equivalent in terms of heat emission pulverized coal fuel.

Among the many types of fuels used to generate power, coal is essential for energy security as it is an inexpensive and abundant resource deposited throughout the world in a wide range of locations. That said, coal has high carbon content and emits a large amount of carbon dioxide (CO_2) per unit heat quantity. Amidst growing concern about recent global environmental issues, the need for reducing CO_2 is increasing [3].

The efficiency of energy production at coal-fired power stations depends on a large number of interrelated stages of the technological process. One of them fundamental stages is kindling of the boiler. The parameters this process depend on the design of combustion chamber of a particular boiler. The purpose of kindling any boiler is to heat the furnace and achieve the temperature conditions necessary to initiate burning of coal dust [4]. Thus, replacement oil fuel with equivalent amount of solid fuel for heat generation is an actual task of heat power engineering. Also in recent year's research and development of new combustion initiation devices and technologies for the possible replacement of liquid fuels with

solid natural fuels and other composite fuels [5] in transient operation modes boiler have been conducted. Price instability in the world market of liquid energy carriers confirms the high urgency of the problem of oil-free firing boiler.

The purpose this work is an experimental study the conditions and characteristics of ignition of coal dust under heating conditions typical for the operation of muffle burners.

In this work, the high-temperature oxygen ignition technology of pulverized coal, which can replace the oil gun and achieve oil-free pulverized coal ignition by mixing the high-temperature oxygen and the pulverized coal stream directly, was proposed and a relevant ignition experimental system was built. At the same time, the ignition characteristics of pulverized coal under high-temperature oxygen condition were investigated.

Experimental investigation

Experimental studies ignition of samples coal dust was carried out using experimental stands (Fig. A.1, Fig. A.2) [6].

Large particles of coal, 3-5 mm in size, were ground in a rotor mill “Pulverisette”. Coal dust was sieved after grinding. Sieving characteristics: 200 vibrations per minute and a swing of 50 mm. A set of sieves was used according to ISO 3310-1:2000: 40 μm ; 140 μm ; 250 μm to separate the coal into samples of different dispersity. The particle size affects the intensity of their warming, so the different dispersity allowed determining the influence this factor on the main characteristic the process - the delay time ignition.

Figure A.1 illustrates the first scheme of the experimental setup developed in this study.

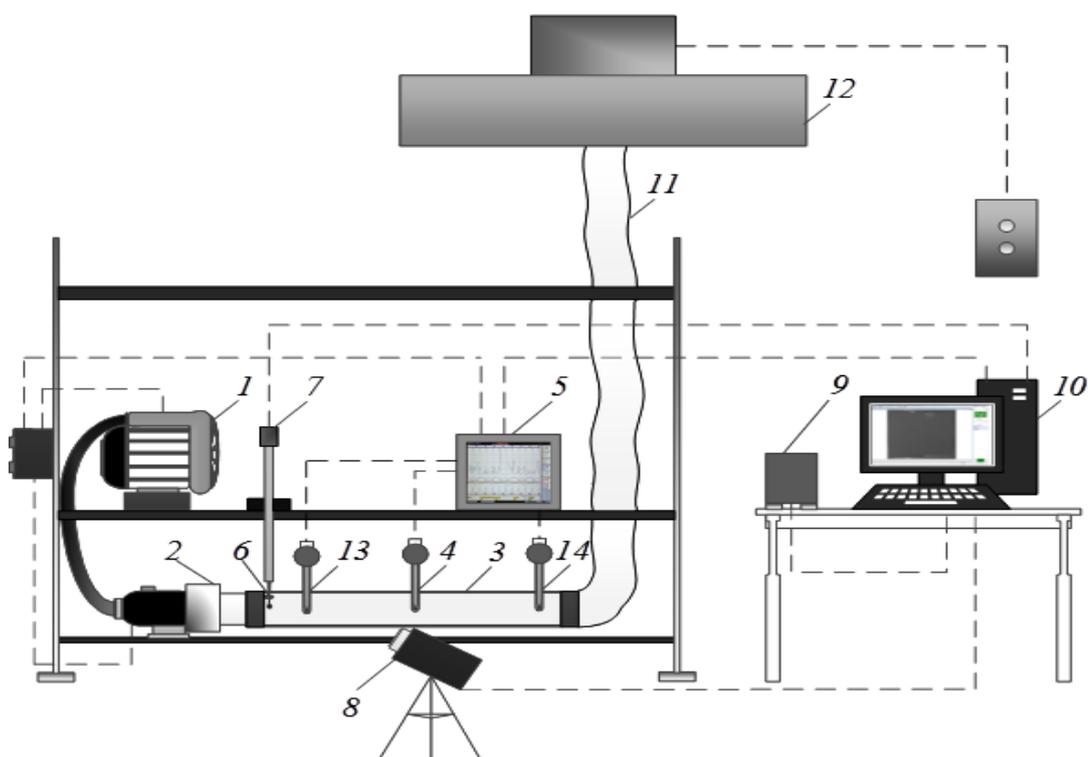


Figure A.1 – The scheme of an experimental setup: 1 – blower; 2 – air heater; 3 – glass cylinder; 4, 13, 14 – thermocouples; 5 – temperature recorder; 6 – device for feeding coal dust; 7 – coordinate mechanism; 8 – camera; 9 – analytical balance; 10 – computer; 11 – air duct; 12 – venting

The operating principle of experimental stand (Figure A.1) is based on the interaction fine particles of coal dust with a stream heated air. Ignition of coal dust was initiated when it moved in the cavity cylinder made of quartz glass (length 1 m, diameter 0.1 m). The parameters heated air flow in cylinder is regulated in a sufficiently wide range.

The modes operation air blower and air heater were changed by means of a control panel. Variation of operating conditions of the experimental stand allows setting not only the limiting (minimum) parameters oxidizer necessary for ignition of coal dust, but also approximate dependences the main integral characteristic of the process - ignition delay time (t_d) on the parameters heated air (T_g).

The introduction fine particles of coal was carried out through one of three technological holes into the cylinder, which are located along the axis of symmetry, by means a special feeding device fixed to mobile platform of the automated coordinate mechanism. A power supply the coordinate mechanism was provided by a source the type BP10–23.

The algorithm for determining the ignition timing was consistent with the procedure. The systematic errors in determining ignition delay t_d didn't exceed 3 %.

A blower 1 (power is 0.25 kW, gas flow rate is not more than 1200 l/min) and an air heater 2 (power is 11 kW, the maximum gas temperature at the output is 1250 K) formed the airflow inside a quartz cylinder 3 (internal diameter is 0.1 m, length is 1 m). The rate (V_g) and the temperature (T_g) of the oxidizer flow in the cylinder 3 varied between 0.5–5 m/s, respectively.

The rate was measured by an anemometer “UnionTest AN110” (measurement resolution is 0.1m/s) at $T_g \approx 300$ K. While the values of airflow velocity and temperature varied over a wide range, the concentration of an oxidizer was about 20.5 %.

The air flow with the given parameters was fed into the hollow glass cylinder. The channel 3 has three holes 10 mm in diameter each located along the axis of symmetry at distance of 0.4 m from each other. We used the outer holes to

mount thermocouples (temperature range 273 – 1373 K, systematic error ± 3 K, response time no more than 10 s). These recorded the air temperature at the inlet and outlet of glass cylinder, which enabled us to evaluate the air temperature (T_g) where coal droplet interacted with the air flow. We using the thermoelectric converters 4, 13, 14 and the recorder 5, the temperature of the heated air flow along the channel was monitored.

Coal particles ignition and combustion were characterized by the ignition delay time (t_d) and complete burnout time (t_c). We determined their values, when analyzing the video recordings of an interaction with the hot air flow in Phantom Camera Control (PCC) using the Threshold algorithm. According to the method, we have determined the thresholds of gas-phase ignition of volatiles in the vicinity of the particles and its heterogeneous ignition. The processes occurring during the induction period were recorded by a high-speed video camera. Software PCC with continuous tracking algorithm was used to determine the moments of gas-phase and heterogeneous ignition.

The random errors for sets of 5–8 experiments under identical conditions didn't exceed 10 %.

The smooth adjustment of temperature (T_g) the heated air with the LE 5000 air heater is only possible up to 873 K. A series of experiments the ignition of coal dust with a temperature medium above 873 K were carried out at the second experimental stand with a tubular muffle furnace (Figure A.2).

Figure A.2 illustrates the stand scheme. The main part of stand is the tubular muffle furnace “Nabertherm R 50/250/13”. The internal diameter and length the ceramic tube are 40 mm and 450 mm; range of temperature variation 293 –1500 K; the temperature is controlled by a built thermocouple type S. In each series of experiments, the ceramic tube was heated to a predetermined temperature. When the temperature is varied over a wide range, the duration the induction process varies considerably from 0.05 to 15 s. Fine coal particles were placed on the surface a ceramic holder 10×10 mm in size at a distance about 0.5 mm from each other to minimize the effect interaction factor of group of particles on the

characteristics of the process being studied. Such heating conditions are in good agreement with the conditions for heating coal dust in the boiler furnace [7] and in the burner muffle when the fine particles (about 100 μm in size) move at a rate close to oxidant flow rate and are heated primarily by the energy accumulate and radiate enclosing structures.

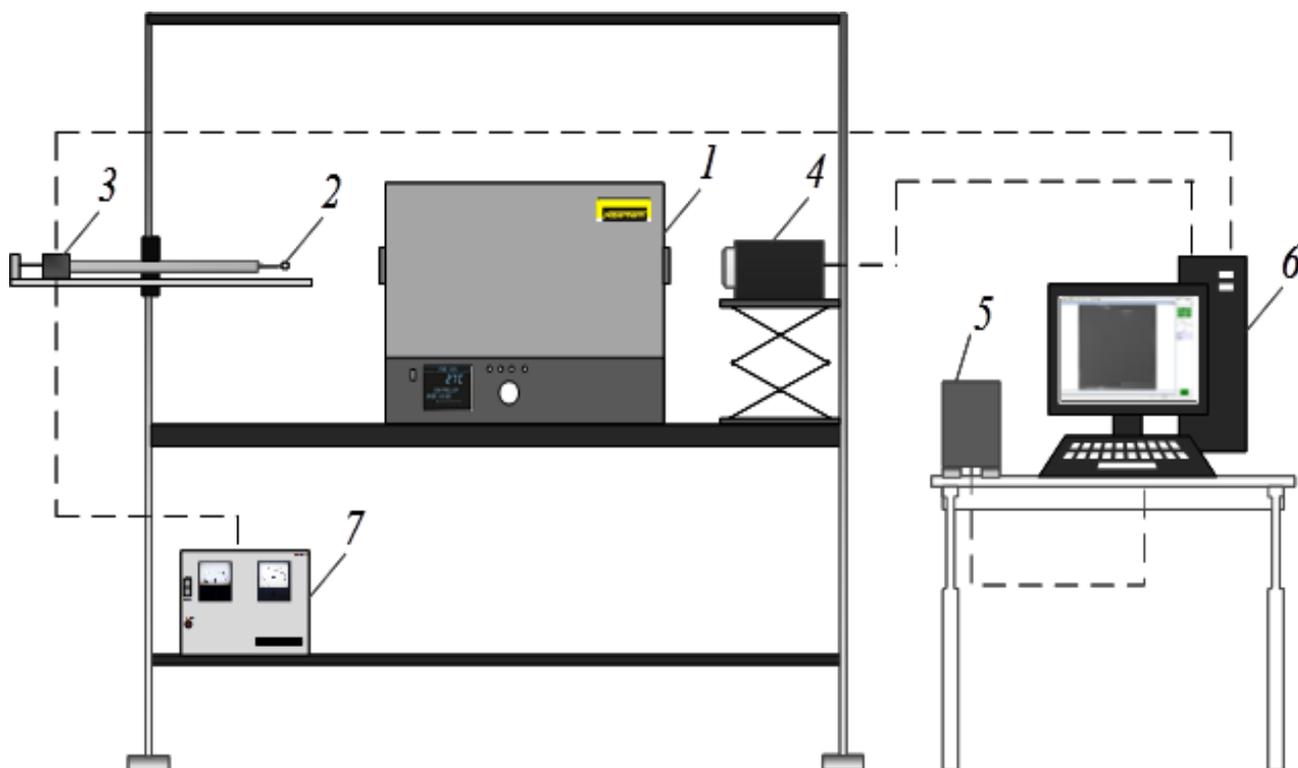


Figure A.2 – The scheme experimental stand: 1– muffle furnace; 2 – ceramic holder; 3 – coordinate mechanism; 4 – camera; 5 – analytical balance; 6 – computer; 7 – power supply unit

The ceramic holder 2 was introduced into the muffle furnace with coal dust by the coordinate mechanism 3 and fixed in central part of tube. The speed of coordinate mechanism was about 0.5 m / s. The process ignition fine particles of coal in a muffle furnace were recorded with a high-speed camera 4. The main characteristics of camera “Phantom V411”: shooting speed up to $6 \cdot 10^5$ frames per second, maximum resolution 1280×1280 pixels, type of shooting - color.

The preservation and processing of video recordings was performed on computer 6 using the PCC software. Process of video registration began when the particles of coal dust entered the muffle furnace. The ignition delay time was determined from the video recording and counted until the appearance the flame. The ignition delay time t_d is defined by the elapsed time between two signals. Also, when the medium temperature rises, the ignition time of coal dust is reduced.

The number of experiments at a fixed value of T_g was 4 to 8.

We performed experimental studies ignition characteristics for different grades of stone and brown coals.

We have chosen the following notation for coals of different type:

No. 1 – brown coal grade 1B, Talovskoe deposit, Tomsk region, Russia;

No. 2 – charcoal, which is obtained by pyrolysis of wood;

No. 3 – brown coal grade 3B, Bolshesyr deposit of the Kansk-Achinsk coal basin, Krasnoyarsk region, Russia;

No. 4 – coal of grade D, Kuznetsk coal basin, Kemerovo region, Russia;

No. 5 – coal of grade K, mine "Berezovskaya", Kuznetsk coal basin, Kemerovo region, Russia;

No. 6 – coal of grade T, Kaltan coal mine, Kuznetsk coal basin, Kemerovo region, Russia.

The main charcoal characteristics are given in Table A.1, established within the framework of standard techniques [8].

Table A.1 – Characteristics of coals

No.	Technical analysis				Element composition				
	W^a , %	A^d , %	V^{daf} , %	$Q_{s,r}$, MJ/kg	C^{daf} , %	H^{daf} , %	N^{daf} , %	S^{daf} , %	O^{daf} , %
1	10.15	22.84	61.47	17.30	64.86	6.90	0.62	0.38	27.13
2	0.05	1.49	22.58	29.60	83.11	3.49	$\Sigma=13.40$		
3	15.52	3.85	46.62	23.36	74.52	7.20	0.71	0.30	17.25
4	10.09	8.52	40.19	24.82	77.46	6.25	2.27	0.35	13.64
5	2.05	14.65	27.03	29.76	87.20	5.09	2.05	1.02	4.46
6	2.89	18.07	15.07	27.65	90.13	4.26	2.31	0.44	2.77

Results and discussion

Figure A.3 presented the experimental dependences of ignition delay time's fine particles of coals different grades on the ambient temperature for different dispersities of coal dust: 40 μm , 140 μm , 250 μm . The obtained result allows drawing a conclusion about a pronounced regularity - it is influence of the share of volatiles in coal (V_{daf}) on intensity its ignition under identical initial conditions. It is established that the higher the content of volatiles in coal, the higher the intensity of physicochemical transformations. Ignition fine particles of coal occur at lower ambient air temperatures compared to large particles and with smaller delays in time (Fig. A.3).

The coals of different grades considered in this paper (Table A.1) can be divided into three groups according to volatile content: low-reactive coals $V_{\text{daf}} < 30\%$; the average reaction coal is $30 \leq V_{\text{daf}} < 50\%$; highly reactive coals $V_{\text{daf}} \geq 50\%$. Highly reactive coals include brown coal (sample No. 1) with a high volatile content and charcoal (sample No. 2).

Experiments with coal dust in heated air have shown that their ignition occurs at temperatures above 773 – 873 K. Single burning particles have been recorded, which burn out much faster than at higher temperatures. Probably, the size of these particles was much less than the size of the main part sample, which did not separate upon sieving.

It was also found that duration of the induction period increases with the increase in the dispersion of coal.

Estimating the obtained results, it can be noted that highly reactive coals (brown coals of grades “B1”, “B3”, “2BR” and charcoal) have the minimum temperature necessary for sustainable combustion. This result allows us to conclude that it is advisable to optimize ignition process under real conditions in temperature range of the heating source $T_g = 773\text{--}923$ K in order to reduce energy costs.

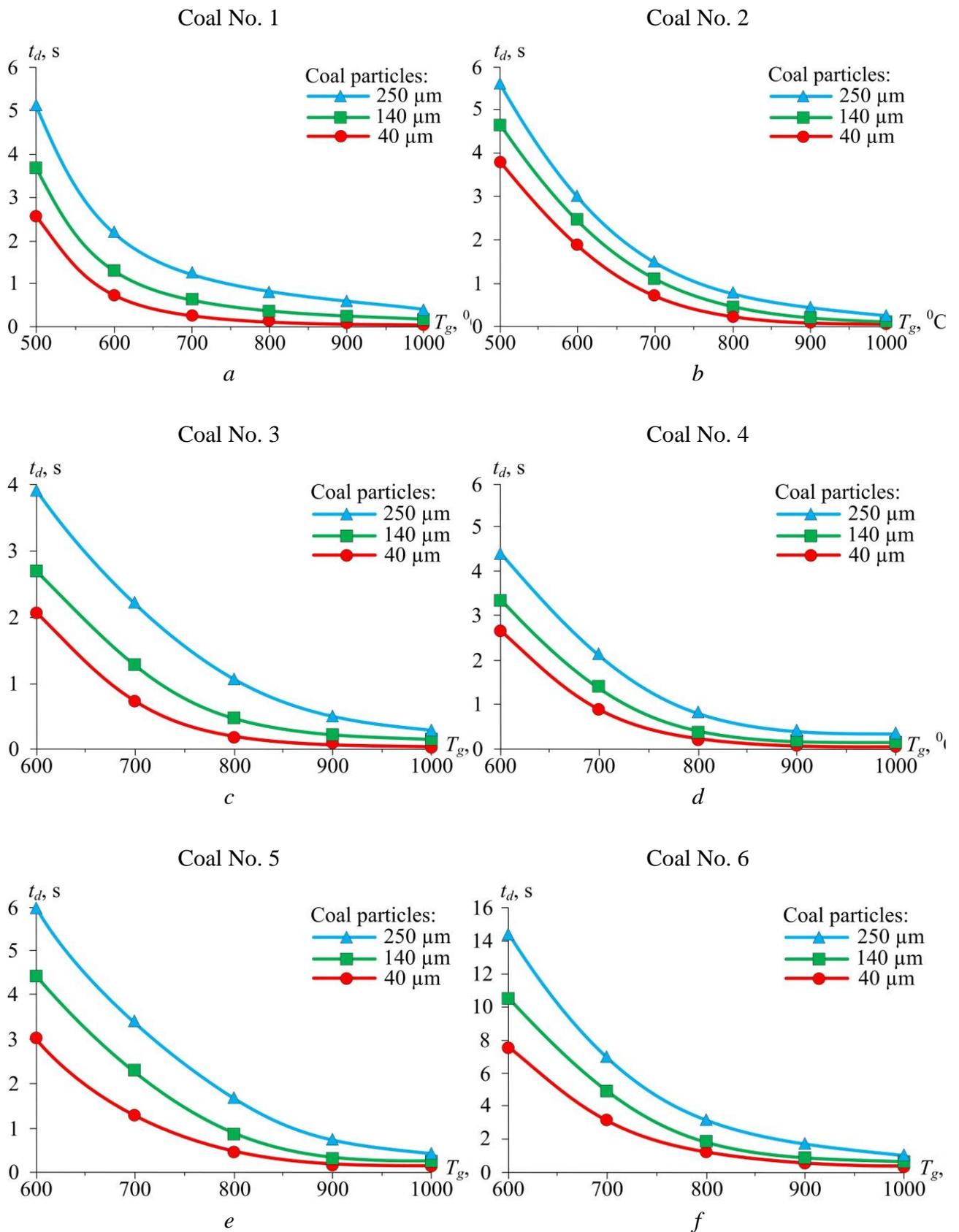


Figure A.3 – Dependences of ignition delay time on the temperature environment and coal dispersion

Stable ignition of medium-reactive and low-reactive coals occurs under conditions of interaction with an oxidizer at temperatures $T_g = 870$ K and higher. At such values of T_g for low-reactive coals, long ignition delay times are characteristic as compared to medium reaction and high-reaction coals under identical heating conditions [9].

Volatile substances are contained in charcoal less than 50 %, but this disadvantage is compensated by a low moisture content (0.05 %) in terms the reactivity of coal. The high reactivity is characterized by low energy consumption for endothermic phase transformation (2.6 MJ / kg) with heating of charcoal and evaporation of moisture. The temperature of the heated air $T_g = 773$ K is the minimum necessary for stable ignition of high-reaction coal (Figure A.3, a and b). In this paper, the term "stable ignition" is applicable for the temperature range close to the limiting (minimum) ambient temperatures at which coal dust ignition occurs. "Stable ignition" means that after ignition of at least one coal particle for 0.1 s, other particles ignite not less than 50 % of the surface the ceramic holder (Figure A.2).

Individual particles were ignited at temperatures below 773 K, a group of particles with time intervals of more than 0.2 s or charcoal did not ignite.

Stable ignition of medium reaction (Figure A.3, c and d) and low-reactivity (Figure A.3, e and f) coals occurs under conditions of interaction with the oxidizer at temperatures $T_g = 873$ K and higher. At such values of T_g for low-reactive coals, long ignition delay times are characteristic as compared to medium reaction charcoal under identical heating conditions. The difference t_d at $T_g = 873$ K is 1.5 to 4 times (Fig. A.3, c-f). The result can be explained as follows. For coals with different volatile content, different mass rates of thermal decomposition and injection of volatiles into the oxidant medium are characteristic under identical heating conditions. Therefore, the smaller the value of V_{daf} , the more time it takes to heat the coal particle and form a combustible gas mixture in its vicinity. When close to the limiting conditions of ignition, on basis the results of a theoretical study [10], it can be concluded that fine particles of coal for a sufficiently long

induction period (Figure A.3) are heated uniformly and process of thermal decomposition coal is completed.

Thus, ignition is limited by the diffusion gaseous products of thermal decomposition coal in air and the intensity of heating gas mixture, because the temperature of the volatile corresponds to temperature of thermal decomposition coal (about 673 K). In conditions of higher ambient temperatures (more than 1073 K), the concentration of volatile particles near the surface at the moment of ignition can be substantially less than in the case of $T_g = 773-873$ K.

The coal particle is heated unevenly at the moment of ignition. The process of thermal decomposition is not complete. However, the concentrations of combustible gases and the temperature of the oxidizer are sufficient to realize the gas-phase ignition conditions volatiles in a small neighborhood of particle. The oxidation rates of volatile substances significantly exceed the rate of thermal decomposition of coal and the diffusion of combustible gases under relatively high temperatures. Therefore, the process of chemical reaction is limited by the intensity thermal decomposition of coal.

The analysis of results (Figure A.3) allows us to conclude that with increasing ambient temperature, for each of dependences $t_d = f(T_p)$ obtained, the threshold value T_p can be conventionally separated, which excess the change in ignition delay time is less significant compared with the region lower temperatures. The temperature $T_g = 1073$ K (Figure A.3) can be taken such a threshold value. This result allows us to conclude that it is advisable to optimize the ignition process in real conditions in order to reduce the energy consumption for initiating combustion in a certain range of variation of ambient temperature. The boundaries this range depend significantly on the properties of coal (coal dispersion, volatile content, humidity, and others).

Such results have limited application at the international level in the conditions of a wide variety grades and, accordingly, charcoal characteristics. With a view to extending the field of application results of studies performed in practice, in order to predict the ignition characteristics of different coals with a dispersion of

80-100 μm in Figure A.4 illustrates the range of stable ignition coal dust for conditionally isolated low-reaction ($V_{\text{daf}} < 30\%$), medium reactive coal dust ($30 \leq V_{\text{daf}} < 50\%$), and highly reactive ($V_{\text{daf}} \geq 50\%$) coals.

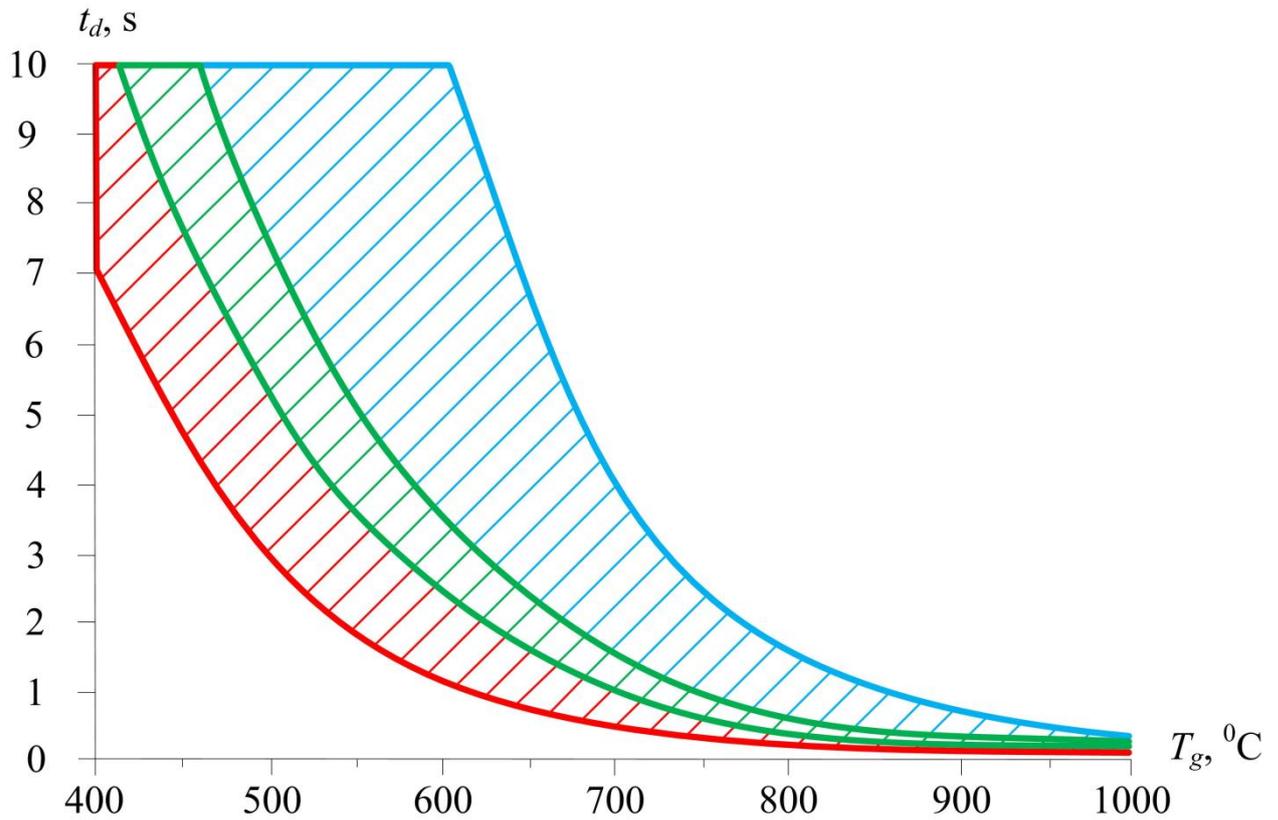


Figure A.4 – Range stable ignition of coal particles with a dispersion of 80-100 μm

The mean values ignition delay times of fine coal particles can be estimated using approximating expressions:

1) low-reaction coal:

$$t_d \approx 620.7 \exp(-0.00900T_g) \text{ at } 873 \leq T_g \leq 1027 \text{ K}; \quad (1)$$

2) medium reactive coal:

$$t_d \approx 551.3 \exp(-0.00909T_g) \text{ at } 773 \leq T_g \leq 1027 \text{ K}; \quad (2)$$

3) highly reactive coal:

$$t_d \approx 219.5 \exp(-0.00799T_g) \text{ at } 673 \leq T_g \leq 1027 \text{ K}. \quad (3)$$

The results obtained are basis for the development recommendations for the design of advanced pilot pulverized coal burners. One of the main criteria in the development of such devices is minimization of overall characteristics and energy

consumption for initiating the combustion process. It is recommended to achieve these criteria in the boiler firing mode:

- 1) use coals with a relatively high V_{daf} content of 30 %;
- 2) minimize the dispersion of coal dust in application of promising methods grinding [11]. The maximum particle size should not exceed 100 μm ;
- 3) observe the optimum relationship between the temperature in the burner muffle and its linear size (the length of the section during which the heating of the coal and the initiation of combustion occur).

The experiments were carried out by igniting the coal particles in a stream heated to high air temperatures in the framework of the procedure in order to confirm the applicability of approximation expressions (1) – (3). The results obtained (Figure A.5) illustrate the applicability of these expressions for the prediction of ignition delay times of high-reaction coal when moving in a stream heated air (about 3 m/s). The calculated values of t_d also sufficiently reliably fulfilled the forecast of the distance that coal particles traveled while moving in air stream until the moment of ignition.

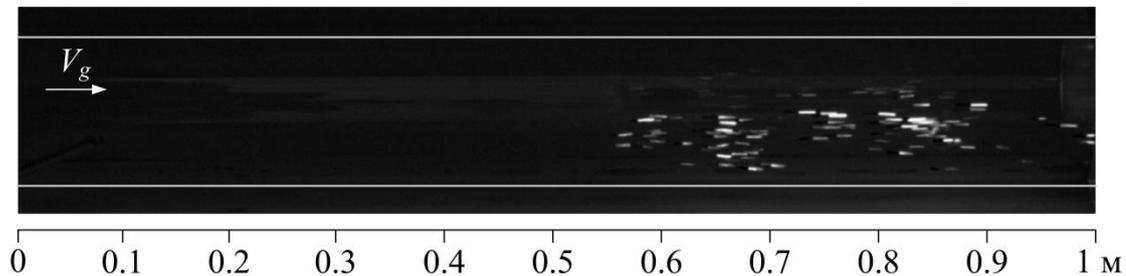


Figure A.5 – A video frame of ignition of brown coal particles with a dispersion of about 80 μm in the air flow at $T_g = 1073 \text{ K}$, $V_g = 3 \text{ m/s}$

The vortex technology [12] of dust-air flow can be used (Figure A.6) to improve the stability of ignition solid fuel in relatively low temperatures in a muffle dust-coal burner. In the conditions vortex motion of the dust-air mixture, it is possible to achieve a multiple increase in the times (and accordingly the warm-up times) of coal dust in the burner as compared to the straight-through burners with identical linear dimensions of the burners. According to the results

(Figure A.4), with the use of vortex burners, it is possible to switch from the high-temperature ($T_g \geq 1073$ K) mode of ignition of coal dust to low-temperature ignition mode ($T_g = 773 - 873$ K). This leads to a reduction in energy consumption for heating the boiler, as well as to reducing the damping of the burner. On the other hand, the use of the swirling technology of dust-air flow makes it possible to reduce the mass-dimensions characteristics of vortex burner in comparison with the similar characteristics of the direct-flow burner under conditions of identical intensity coal dust heating.

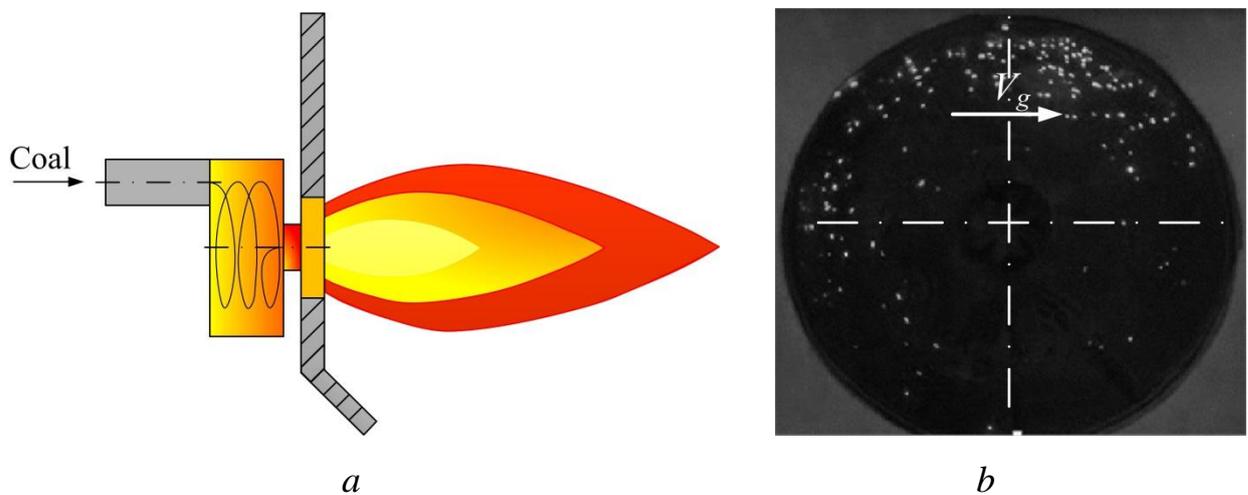


Figure A.6 – Scheme of vortex burner (a) and frame of videogram (b) ignition of coal particles in a vortex air flow at $T_g = 873$ K, $V_g = 3$ m/s

The results of experimental studies can also be used to develop measures to prevent the occurrence of uncontrolled fires of fine coal dust and to toughen fire safety management during extraction, transportation, storage and preparation for coal combustion or during repair and restoration works at technological facilities.

Conclusion

The possibility of using highly reactive coals, for example, brown or stone, with a volatile content of more than 30 % instead of fuel oil during the ignition of boilers of coal-fired power plants is justified as a result of the experimental studies carried out.

The change in operation modes of stands made it possible to establish not only the minimum parameters of the oxidizer that are necessary and sufficient for the ignition of coal dust, but also the approximate dependences main integral characteristic, the ignition delay time t_d , on the parameters the energy source.

For particles of different dispersity and different grades of coal dust, the quantitative difference between ignition delay times is characteristic.

The received approximated expressions for the dependences $t_d = f(T_p)$ allow us to promptly predict the mean values of the ignition delay times of coal dust in the design of dust-coal burners or in optimization of their operation modes.

The construction of burner with the vortex structure of the fuel-air flow is promising for minimizing the linear dimensions for coal burners under the conditions of reducing the energy consumption for initiating combustion of fine-dispersed coal dust, stable ignition of which is guaranteed for 1 – 4 s at ambient temperatures of 773 – 873 K.

References

1. World Energy Outlook 2017. International Energy Agency. 2017. <http://www.iea.org>
2. Annual Energy Outlook 2018. U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov>
3. Makarov A.A. Problems and prospects for the development of the fuel and energy complex of Russia // Energy Efficiency: Abstracts of the International Scientific and Technical. Conf. (October 6-8, 2008, Kiev, Ukraine). Kiev: Institute of Gas NASU, 2008. – P. 7 – 10.
4. Biryukov A.B. Combustion and thermal processing of organic fuels. Solid fuel: a tutorial / A.B. Biryukov, I.P. Drobyshevskaya, Yu.E. Ruban. - Donetsk: State Educational Establishment "DonNTU", 2014. – P.232.
5. Rana M.S., AlHumaidan F.S. Statistical data on worldwide coal reserves, production, consumption, and future demand // Coal Production and Processing Technology. – 2016. – P. 31 – 50.
6. Muffle burners, their design and operation (a collection of works of the All-Union Order of the Red Banner of Labor Engineering Research Institute named after FE Dzerzhinsky). Edited by Oivina N.L. Moscow: Gosenergoizdat. – 1947.
7. Dubrovsky V.A. Increase of efficiency of power use coals of the Kansk-Achinsk basin. Monograph. Krasnoyarsk: IPC KSTU, 2004. – P. 184.
8. Simonov V.F., Ponomareva N.V., Ageev M.A. Optimization of deep flue gas cleaning systems for boilers-pulverized coal-fired power plants // Proceedings of higher educational institutions. Energy problems. – 2006. – No. 9-10. – P. 55 – 62.
9. Burdukov A.P., Popov V.I., Lomovsky O.I., Yusupov T.S. The influence of mechanochemical activation on the combustion of coals in a torch // Chemistry for Sustainable Development. – 2009. – No. 17. – P. 471 – 478.
10. Zhang K., Jin L., Cao Q. Evaluation of modified used engine oil acting as a dispersant for concentrated coal-water slurry // Fuel. 2016. Vol. 175. P. 202–209.

11. Glushkov D.O., Strizhak P.A., Chernetskii M.Y. Organic coal-water fuel: Problems and advances (Review) // Thermal Engineering. 2016. Vol. 63, No. 10. P. 707–717.
12. Dubrovsky V.A., Vidin Yu.V., Dering I.S., Zubova M.V., Evtikhov Zh.L. Scheme without oil firing of the boiler. Patent of the Russian Federation 2200905, cl. 7F 23K 1/04 A, 7F 23D 1/02 B, 2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

Поз.	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
1а	Термопреобразователь сопротивления, погружаемый, НСХ ПП (S), монтажная длина 500 мм, диапазон измеряемых температур 0...1700 °С, выходной сигнал 4...20 мА, класс точности 0,25. НПП «Элемер», г. Зеленоград.	ТПУ 0304/М1	1
2а	Термопреобразователь сопротивления, погружаемый, НСХ 100М, монтажная длина 250 мм, диапазон измеряемых температур -50...+100 °С, выходной сигнал 4...20 мА. НПП «Элемер», г. Зеленоград.	ТС-1288/1	1
3а	Термопреобразователь сопротивления, общепромышленного применения, монтажная длина 320 мм, диапазон измеряемых температур -50...100 °С, выходной сигнал 4...20 мА, суммарная приведенная погрешность 1,1 %. СИБ «Термоприбор», г. Москва.	ТСПУ 014.11.ИНД-Оп- 4/20	1
4а	Термопреобразователь сопротивления, погружаемый, НСХ 100П, монтажная длина 500 мм, диапазон измеряемых температур -50...350 °С, выходной сигнал 4...20 мА, класс точности 0,25. НПП «Элемер», г. Зеленоград.	ТС-1288/5	1
5а	Термопреобразователь сопротивления, погружаемый, НСХ ХА (К), монтажная длина 320 мм, диапазон измеряемых температур -50...1300 °С, выходной сигнал 4...20 мА, класс точности 0,25. НПП «Элемер», г. Зеленоград.	ТПУ 0304/М1-Н	1
6а	Термопреобразователь сопротивления, погружаемый, НСХ 100М, монтажная длина 500 мм, диапазон измеряемых температур -50...+200 °С, выходной сигнал 4...20 мА. НПП «Элемер», г. Москва.	ТС-1288/2	1
7а- 8а	Термопреобразователь сопротивления, общепромышленного применения, монтажная длина 320 мм, диапазон измеряемых температур 0...300 °С, выходной сигнал 4...20 мА, суммарная приведенная погрешность 1,1 %. СИБ «Термоприбор», г. Москва.	ТСПУ 014.11.ИНД-Оп- 4/20	2
9а	Преобразователь дифференциального давления, предел допускаемой основной погрешности ± 0,15 %, верхний предел измерений 4 МПа, предельно-допускаемое рабочее избыточное давление 16 МПа, избыточное давление-разрежение ±5кПа... (-0,1...+2,4) МПа, выходной сигнал 4...20 мА, взрывобезопасное исполнение. НПП «Элемер», г. Зеленоград.	Элемер АИР- 10Н	1
		ФЮРА.421000.006 СО1	
Исп.	Чебочакова Д.	Стад	Лист
Пров	Глушков Д.О.	П	1
Н.к.	Медведев В.В.	ТПУ НОЦ И.Н. Бутакова Группа 5БМ6Д	
Утв.			
Спецификация приборов и средств автоматизации		Листов	2

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(продолжение)

1	2	3	4
10а-12а	Датчик абсолютного давления, взрывозащищенный, диапазон измерений 0...25 МПа, выходной сигнал 4...20 мА с цифровой связью (HART протокол), (перенастраиваемый), наружная резьба М20х1,5, класс безопасности 2, монтажные части ниппель с накидной гайкой М20х1,5 (материал накидной гайки – углеродистая сталь), температура окружающей среды -55...+85 °С, погрешность ± 0,2. ПГ «Метран», г. Челябинск.	Метран-150 TAR	3
13а-15а	Датчик разности давлений, взрывозащищенный, диапазон измерений 0...16 МПа, выходной сигнал 4...20 мА с цифровой связью (HART протокол), (перенастраиваемый), предельно-допускаемое рабочее избыточное давление 25 МПа, температура окружающей среды -55...+85 °С, погрешность ± 0,1. ПГ «Метран», г. Челябинск.	Метран-150 CDR	3
16а	Газоанализатор, выходной сигнал 4...20 мА, класс точности 1. верхний предел измерений 50%, «Аналитприбор», г. Смоленск.	АКВТ-01	1
	Программируемый логический контроллер <u>Siemens S7-1500</u> . В состав ПЛК входят:		1
	Модуль питания	6ES7505-0KA0	1
	Модуль процессорный	6ES7512-1CK00	1
	Модуль коммуникационный	6ES7545-5DA00	1
	Модуль аналогового ввода	6ES7531-7KF00	1
	Модуль дискретного ввода	6ES7521-1BH00	2
	Модуль дискретного вывода	6ES7522-1BH10	1
ФЮРА.421000.006 СО1			2

