

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 ООП Автоматизация теплоэнергетических процессов  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н.Бутакова

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
АСУ ТП воспламенения твердого топлива в муфельном предтопке котла УДК 681.5:621.182.23-66

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Опрышко М.А.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Глушков Д.О.	д.т.н доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор		

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы  
магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

<b>Код компет енции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации

<b>ПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
<b>ПК(У)-3</b>	Способен интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
<b>ПК(У)-4</b>	Способен применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
<b>ПК(У)-5</b>	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
<b>ПК(У)-7</b>	Способен руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений
<b>ПК(У)-8</b>	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий



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

Школа Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель специализации ООП  
\_\_\_\_\_ Стрижак П.А.  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Опрышко Михаил Александрович

Тема работы:

АСУ ТП воспламенения твердого топлива в муфельном предтопке котла
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом автоматизации в работе является котел пеллетный ZOTA "Pellet". Для поддержания горения в котел подаётся суспензионное водоугольное топливо топливо (ВУТ).</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Научно-исследовательская работа;</li> <li>2. Анализ объекта автоматизации;</li> <li>3. Разработка проектной документации;             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Выбор и обоснование структуры АСР;</li> <li>3.2. Разработка функциональной схемы АСР;</li> <li>3.3. Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации;</li> <li>3.4. Разработка принципиальной электрической схемы АСР;</li> <li>3.5. Разработка монтажной схемы АСР;</li> <li>3.6. Разработка общего вида щита управления;</li> </ol> </li> </ol>

	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 5. Социальная ответственность; Заключение.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема структурная; 2. Схема функциональная; 3. Схема принципиальная электрическая; 4. Схема монтажная; 5. Общий вид щита управления.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент</b>	Доцент ОСГН, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна
<b>Социальная ответственность</b>	Доцент ООД, к.т.н. Сечин Андрей Александрович

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	29.01.2021 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Глушков Д.О.	д.т.н доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Опрышко Михаил Александрович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 106 с., 20 рисунков, 26 таблиц, 1 приложение, 62 источника, 7 листов графического материала.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, водогрейный котел, разрежение в топке, горение водоугольного топлива. Объектом автоматизации является котел пеллетный ZOTA "Pellet".

Цель работы – разработка автоматической системы управления процесса горения водоугольного топлива в топке водогрейного котла. В процессе выполнения работы была проведена серия экспериментов с водоугольным топливом. Была выбрана структура системы управления горения водоугольного топлива в топке котла, были подобраны технические средства автоматизации. Разработана функциональная схема, электрическая схем и общий вид щита.

Итогом данной работы является разработанная автоматическая система регулирования горения водоугольного топлива в топке котла.

## Содержание

Оглавление .....	7
Введение .....	10
1. Обсуждение достижений по тематике водоугольное топливо .....	11
2. Эксперименты исследования .....	14
2.1 Подготовка топлива и характеристики .....	14
2.2 Экспериментальная методика .....	16
2.3 Термогравиметрический анализ.....	17
2.4 Практическое применение .....	19
2.5 Результаты исследований .....	21
3 Системный анализ объекта автоматизации.....	24
4 Разработка структуры АСУ ТП .....	27
5. Разработка функциональной схемы АСУ ТП .....	29
6. Составление опросных листов на приборы и средства автоматизации.....	31
7. Технические средства системы управления, составление спецификации ...	32
7.1 Датчики температуры .....	32
7.2 Датчики давления.....	34
7.3 Расходомер .....	37
7.4 Уровнемер .....	38
7.5 Газоанализатор .....	39
7.6 Кран шаровый .....	39
7.7 Клапан обратный.....	40
7.8 Клапан электромагнитный .....	40
7.9 Насос.....	40
7.10 Гомогенизатор .....	41
8. Проектирование схемы внешних проводок.....	42
9. Разработка электрической схемы соединений щита управления .....	44
10. Разработка сборочного чертежа щита управления .....	46
11. Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы.....	47
12. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	49

12.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	49
12.1.1 Анализ конкурентных технических решений .....	49
12.1.2 SWOT-анализ .....	51
12.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	54
12.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	54
12.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	55
12.3 Бюджет научно-технического исследования.....	58
12.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования....	59
12.3.2 Расчет амортизации специального оборудования .....	59
12.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	60
12.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	62
12.3.5 Накладные расходы .....	63
12.3.6 Бюджет НИР.....	64
12.4 Определение бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	65
Выводы по разделу.....	67
13. Социальная ответственность .....	71
13.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	
Правовые нормы трудового законодательства .....	71
13.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	72
13.3 Производственная безопасность .....	73
13.4 Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	74
13.5 Экологическая безопасность .....	81
Заключение .....	85
Список использованных источников .....	86
Приложение А .....	93



Графический материал:

ФЮРА.421000.007 С1 Схема структурная АСУ ТП

ФЮРА.421000.007 С2 Схема функциональная АСУ ТП

ФЮРА.421000.007 СО1 Спецификация приборов и средств автоматизации

ФЮРА.421000.007 С4 Схема монтажная

ФЮРА.421000.007 Э4 Схема электрическая соединений щита управления

ФЮРА.421000.007 ПЭ4 Перечень элементов

ФЮРА.421000.007 ВО Общий вид щита управления

ФЮРА.421000.007 ПЭ4 Перечень элементов

## Введение

Назначение АСУ ТП состоит в поддержании установленных режимов технологического процесса за счет контроля и изменения технологических параметров, выдачи команд на исполнительные механизмы и визуального отображения данных о производственном процессе и состоянии технологического оборудования. В функции АСУ ТП входит предупреждение аварийных ситуаций, анализ контролируемых значений, стабилизация режимных параметров и технологических показателей. Автоматизация помогает в достижении основных целей политики предприятия в вопросах экономики и качества.

АСУ ТП получила широкое распространение в таких отраслях, как: аграрная промышленность, нефтегазовый комплекс, машиностроение, энергетика, горнодобывающий производственный комплекс, металлообработка, пищевая промышленность и др. Автоматизируются гидромеханические, массообменные, тепловые процессы; процессы очистки, фильтрации, переработки, разделения, измельчения, хранения, отгрузки, приемки, дозаций, пуска и остановки, измерения и множество других. От состава АСУ ТП зависят потенциальные возможности системы, а также качество функционирования автоматизированного объекта.

В состав автоматизированной системы входит не только совокупность технических средств и программного обеспечения. Работа АСУ ТП невозможна без таких компонентов, как: информационное, математическое, организационное, эргономическое и метрологическое обеспечение. Несмотря на то, что автоматизация освобождает человека от необходимости выполнять большинство функций контроля, стабилизации и управления, именно оперативный персонал (технологи, инженеры, диспетчеры, машинисты, операторы, аппаратчики) следит за надлежащей работой приборов и автоматических устройств и контролирует технологические параметры.

## 1. Обсуждение достижений по тематике водоугольное топливо

Как правило, растопка пылеугольных котлов реализуется с использованием природного газа или мазута. Стоимость этих энергоресурсов выше стоимости угля. Такая разница в силу разных причин будет возрастать. В настоящее время на тепловых электростанциях широко используются топочный мазут с высоким содержанием серы, при сжигании которого в дымовых газах образуется большое количество токсичных веществ (оксид серы, пятиокись ванадия), оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [1]. Существует необходимость в снижении объемов потребления мазута на объектах теплоэнергетики, для максимального перехода использования твердого натурального топлива.

Перед сжиганием мазут проходит сложный цикл специальной подготовки. Необходимость заключается в эффективном сжигании с одновременным обеспечением надежности топочного устройства, а также уменьшения загрязняющих выбросов в окружающую среду [2]. Уйдя от технологии растопки котлов мазутом, даст возможность не использовать специализированные установки для подготовки мазута перед сжиганием.

Таким образом, вредное воздействие на окружающую среду угольная энергетика может быть сокращена только за счет совершенствования технологий ее использования.

Перевод котлов на сжигание угля в виде водоугольного топлива (ВУТ) может быть эффективным способом решения этой проблемы. Технология сжигания угля в виде ВУТ имеет большое количество преимуществ по сравнению с традиционными способами сжигания угля.

- увеличение степени выгорания горючей массы до 95 % [3];
- увеличение КПД котлов до 83 % [3] и снижение себестоимости единицы вырабатываемой тепловой энергии в 2,5–3,5 раза раз [4], в зависимости от соотношения цен на уголь и другие энергоносители перевозчики;
- возможность частичной или полной замены дорогого топлива мазут и газ;

- возможность использования угольных шламов и угольных отходов;
- снижение расходов при хранении, транспортировке и сжигании ВУТ по сравнению с углем;
- частичное решение экологических проблем: значительное снижение вредные выбросы. В частности, содержание  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания снижается до 2 раз [3].

В то же время при сжигании ВУТ есть свои недостатки:

- большое количество воды в составе представляет опасность топлива замораживание в соответствующих климатических условиях. Кроме того, высокое содержание воды затрудняет воспламенение суспензии. По сравнению с углем ВУТ проигрывает по теплоте сгорания;

– есть трудности, связанные с блокировкой и эрозией топливных форсунок [5,6]. Проблема эффективного распыления ВУТ и долговечность форсунки имеет решающее значение при сжигании ВУТ.

На сегодняшний день существует множество форсунок и вихревых горелок, использующих разные принципы распыления и сжигания ВУТ.

Для сжигания водоугольного топлива была разработана вихревая горелка, работающая вместе с пневматической форсункой.

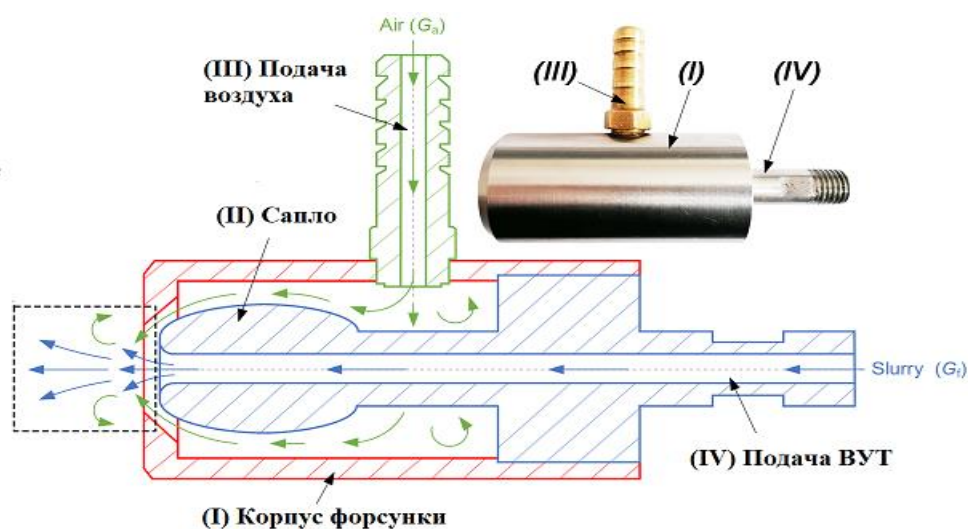


Рисунок 1 – Форсунка для распыления ВУТ

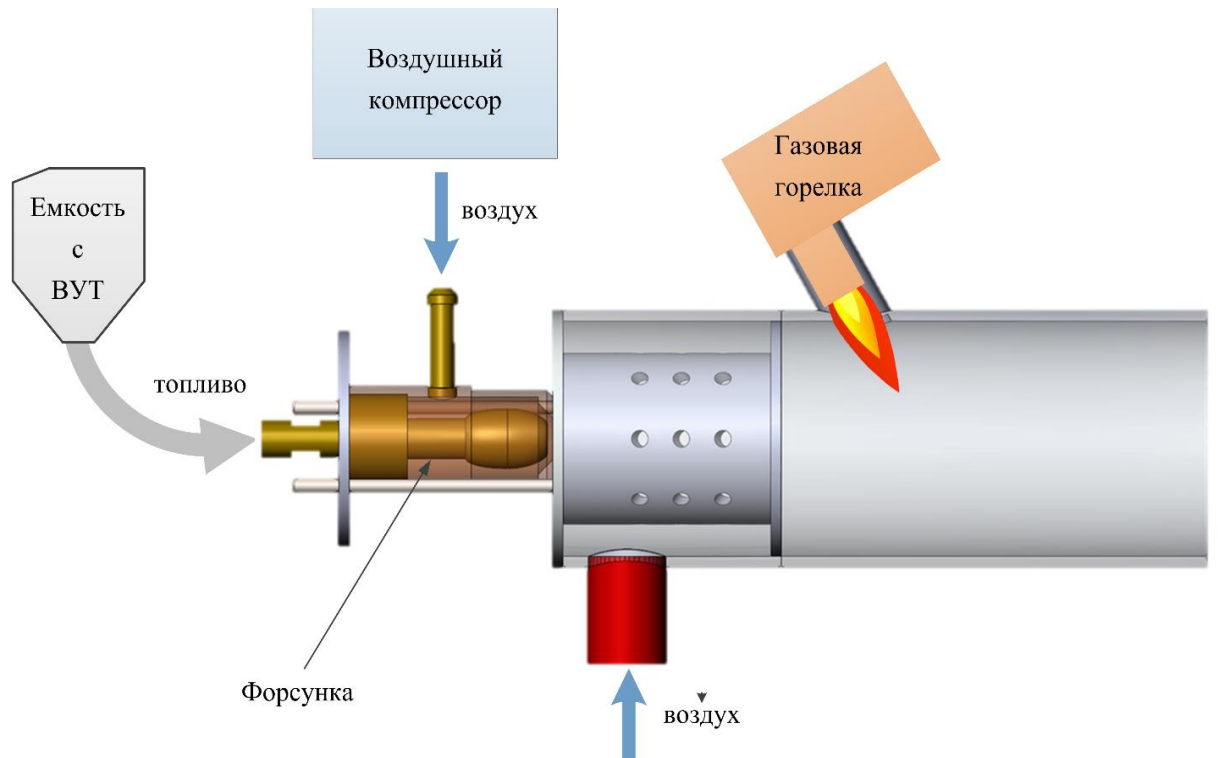


Рисунок 2 – Схема узла подачи и воспламенения топлива

Данные, полученные в исследовании в дальнейшем, могут послужить для использования в растопке пылеугольных котлов ТЭС, большинство тепла- и электроэнергии вырабатывается именно на пылеугольных станциях по сей день.

## 2. Эксперименты исследования

### 2.1 Подготовка топлива и характеристики

В качестве топлива для вихревой горелки были выбраны три состава сухой уголь, фильтр-кек и фильтр-кек с моторным маслом. Фильтр-кек (ФК) - коксующейся каменный уголь, полученный с обогатительной фабрики “Северная” Кемеровской области в Российской Федерации.

В качестве сухого угля был выбран каменный уголь марки «К» (коксующийся), шахта «Березовская» Кемеровской области. Для приготовления состава каменный уголь просеивался через сито со стандартным размером ячеек 140 мкм по ISO 3310:2000. Характеристики каменного угля представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика каменного угля марки «К» [13,14]

Наименование	$W^a$ , %	$A^d$ %	$V^{daf}$ , %	$Q^a_s V$ , МДж/кг	$C^{daf}$ , %	$H^{daf}$ , %	$N^{daf}$ , %	$S^{daf}$ , %	$O^{daf}$ , %
Уголь «К»	2,05	14,65	27,03	29,76	79,79	4,486	1,84	0,868	12,70

Также исследования выполнены для двух составов композиционного топлива (табл. 2) на основе смеси влажного фильтр-кека и фильтр-кек с моторным маслом.

Таблица 2 – Составы композиционных топлив

№. состава	1	2
ФК*	100 %	60 %
Моторное масло	–	40 %

\* – ФК в исходном влажном состоянии (влажность 50%).

Фильтр-кек является продуктом углеобогащения, который может применяться в теплоэнергетике в качестве суспензионного жидкого топлива [15,16,17]. Фильтр-кек представляет собой смесь мелкодисперсного угля (размер частиц не превышает 100 мкм) и воды (массовая концентрация 50%). Для приготовления топливных составов в качестве жидкого горючего компонента, повышающего тепловой эффект процесса горения использовалось моторное масло. Основные характеристики компонентов композиционных топлив приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристики компонентов композиционных топлив [18–19]

Компонент	$W^a$ , %	$A^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$Q_{s,v}^a$ , МДж/кг
ФК*	–	26.5	23.1	24.83
Моторное масло	0.28	0.78	10.2	44.00

\* – ФК в сухом состоянии (до проведения анализа высушивали при температуре около 105 °С для полного испарения влаги).

Топливные суспензии приготовлены по хорошо апробированной методике [20,21]. Они получены путем перемешивания влажного ФК и масла в пропорциях, соответствующих концентрациям компонентов топливных составов (табл. 2). Масло вводили в ФК тремя равными порциями в процессе перемешивания компонентов в емкости объемом 0.2 л мешалкой DC-600RM (HT Machinery, Япония-Тайвань) при 600 об./мин. Длительность всего процесса перемешивания составляла не менее 15 минут.

## 2.2 Экспериментальная методика

Распыление, завихрение и воспламенение топливной суспензии в муфельном горелочном устройстве проводилось с использованием экспериментального стенда (рисунок 3).

Зажигание водоугольного топлива происходило в муфельном горелочном устройстве. Воспламенение ВУТ происходило при помощи газовой горелки. Предварительно камера сгорания прогревалась до рабочей температуры этой же горелкой, рабочая температура воздуха в камере сгорания варьировалась от  $T_g=700-850$  °С. Температура внутри камеры сгорания контролировалась с помощью лазерного пирометра.

В каждой серии из 5–7 экспериментов, проводимых при идентичных начальных условиях, печь прогревалась до рабочей температуры (700–850 °С). После через форсунку в камеру сгорания подавалось водоугольное топливо. Процессы, протекающие в течение горения ВУТ в горелочном устройстве, регистрировались цветной высокоскоростной видеокамерой Phantom V411 (Vision Research, USA), ее основные характеристики: скорость съемки 4200 frames per second at maximum resolution 1280×800 pixels; pixel size 20 μm; minimal exposure 1 μs; 12 bit depth; 16 Gb memory; минимальное время экспозиции 1 мкс; автоматический триггер по изображению.

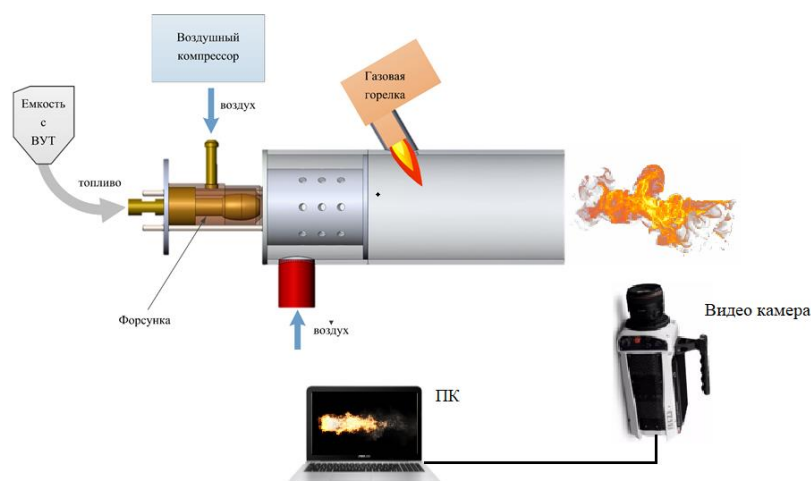


Рисунок 3 – Схема экспериментального стенда



При проведении серий из 5 экспериментов при идентичных начальных условиях контролировались температура ( $T_g$ ) разогретого воздуха в горелочном устройстве и угол раскрытия у форсунки. Программно-аппаратный комплекс высокоскоростной видеорегистрации позволял проводить детальный анализ закономерностей процессов зажигания и выгорания топлива.

### 2.3 Термогравиметрический анализ

Компонентный состав топлив и особенности зажигания представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Компонентный состав топлив и особенности зажигания

№	Состав топлива	Уголь, %	Вода, %	Особенность зажигания
1	Состав №1	100	0	Подается на форсунку совместно с керосином после прогрева
2	Состав №2	100	0	Подается на форсунку без добавок
3	Состав №3	50	50	Подается на форсунку без добавок

Для полученных образцов зольного остатка был выполнен ТГ анализ на анализаторе Mettler Toledo.

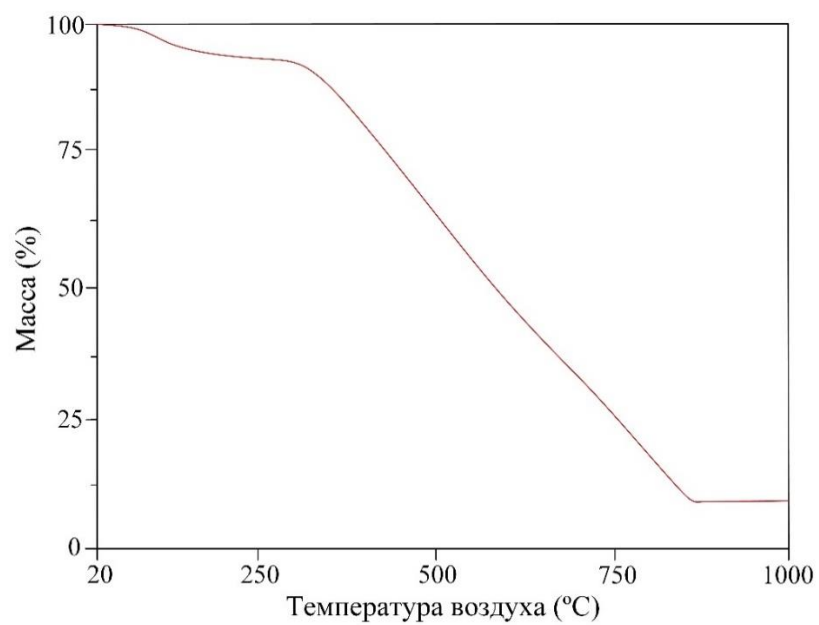


Рисунок 4 – Состав №1

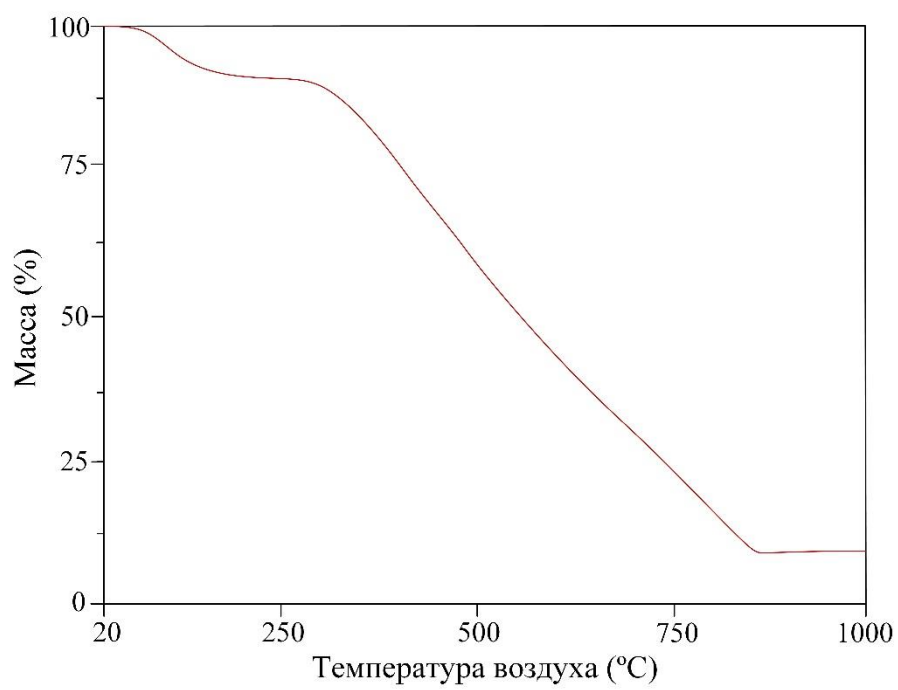


Рисунок 5 – Состав №2

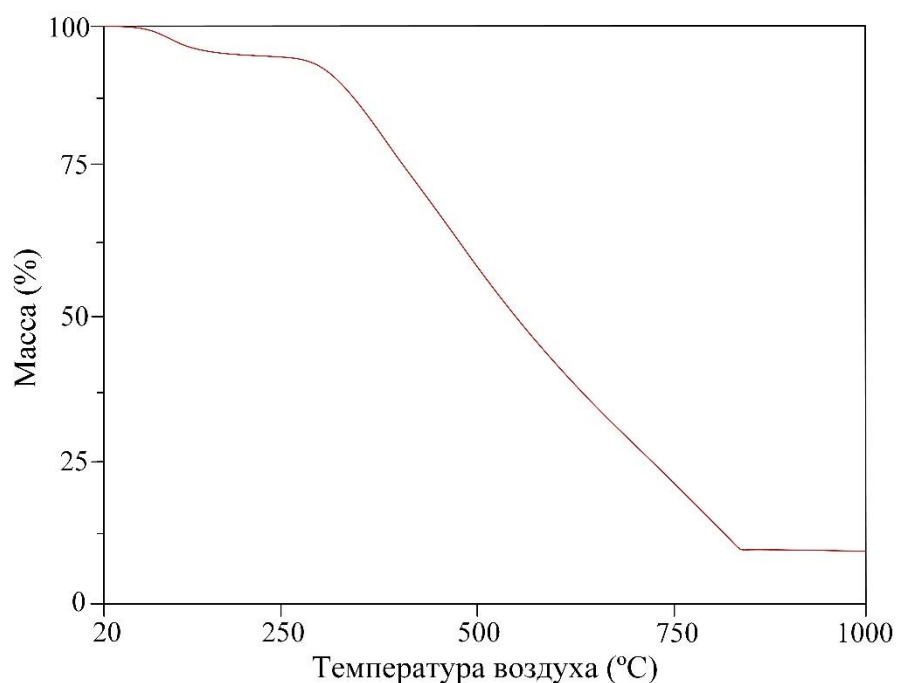


Рисунок 6 – Состав №3

По результатам ТГ анализа (рисунок 4 – 6) видно, что наибольший недожег характерен для состава №4.

## 2.4 Практическое применение

Много лет в России и за рубежом разрабатываются и эксплуатируются системы плазменного зажигания (СЗП) пылеугольного топлива для котлов. Существуют промышленные системы для котлов энергетических установок большой, средней и малой мощности, применяемые, в частности, в системах теплоснабжения [22]. В последние годы вызывают интерес работы, связанные с розжигом и стабилизацией горения водоугольного топлива (ВУТ), особенно в районах с большим запасом угля. Водоугольное топливо рассматривается [22–24] как высокопотенциальное топливо для снижения техногенной нагрузки угольных ТЭЦ на окружающую среду [25]. ВУТ привлекателен тем, что сочетает в себе свойства жидкости и пыли. Топлива, могут быть приготовлены и сохранены на месте или транспортированы по трубопроводу. ВУТ представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля, воды.

Описаны многочисленные примеры, в которых водоугольные суспензии с нефтепродуктами и без них служат основным и дополнительным топливом на тепловых электростанциях [25]. Успешное сжигание такого топлива наблюдалось в вихревых проточных печах [26] и циклонных предгорелочных устройств [27].

Переход с твердого, жидкого и газового топлива на высокопотенциальные топлива ВУТ. В настоящее время разработано большое количество вихревых горелок [30-32]. Но все эти концепты не очень подходят для практического применения на тепловых электростанциях [33]. Это связано с дорогостоящим обслуживанием горелочных устройств. Поэтому производители котлов заинтересованы в новых концепциях горелок, которые будут намного дешевле в эксплуатации и обслуживании. Также производители котлов заинтересованы чтоб горелочное устройство соответствовало всем нормам выбросов вредных веществ в атмосферу [34].

В данной работе был разработан концепт муфельного горелочного устройства (рисунок 7), работающий на ВУТ.

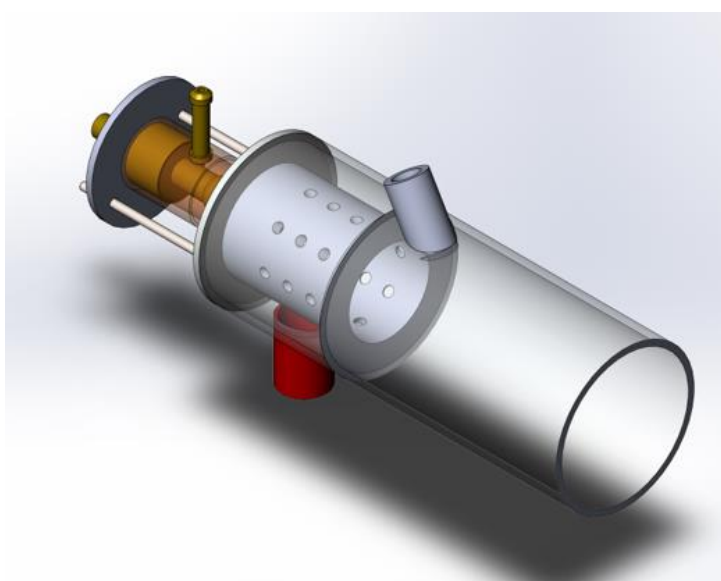


Рисунок 7 – Муфельное горелочное устройство

Данная горелка разрабатывается для того, чтобы заменить мазутные горелки на тепловых электростанциях. С помощью муфельного горелочного устройства будут растапливаться котлы большой и средней мощности. Муфельное горелочное устройство может работать на различных видах топливах. Также можно менять форсунки. На горелку можно установить три вида форсунок с разным расходом. Из-за этой особенности горелку можно установить на различные котлы с разным расходом топлива.

## 2.5 Результаты исследований

На рис. 8 представлены зависимости времен задержки газофазного и гетерогенного зажигания капель суспензий от скорости нагретого воздуха. Поскольку капли в группе располагались на разном расстоянии от источника тепла, то температура в окрестности капель имела градиент. Поэтому рис. 8 снабжен температурными метками, которые указывают температуру, измеренную термопарой под каждой из капель до ее зажигания. Как показали измерения, температуры в окрестности первой и третьей капли отличались, в среднем, на 25–30 °С.

Эксперименты показали, что длительность предпламенной стадии неодинакова для капель в группе, однако это различие можно считать достаточно ограниченным. Выявленная разница значений  $\tau_{d1}$  составила 10–15% для капель ВУТ и 7–10 % для капель ВУТ с добавкой отработанного масла. Несмотря на это, однозначно имела место тенденция более быстрого зажигания капли №1. Первая капля находилась в более высокотемпературной среде и именно это являлось доминирующим фактором для ее ускоренного зажигания. Длительность предпламенной стадии во многом также определяется содержанием летучих в топливе и скоростью формирования газо-воздушной смеси с концентрацией горючего, достаточной для воспламенения. При расположении капель, как в настоящих экспериментах (рис. 8), имел место отток продуктов термического разложения от капель/частиц топлива по направлению от первой к третьей.

Однако, как показали эксперименты, падение температуры, которое происходит в том же направлении, имеет большее значение для выполнения условий газофазного зажигания.

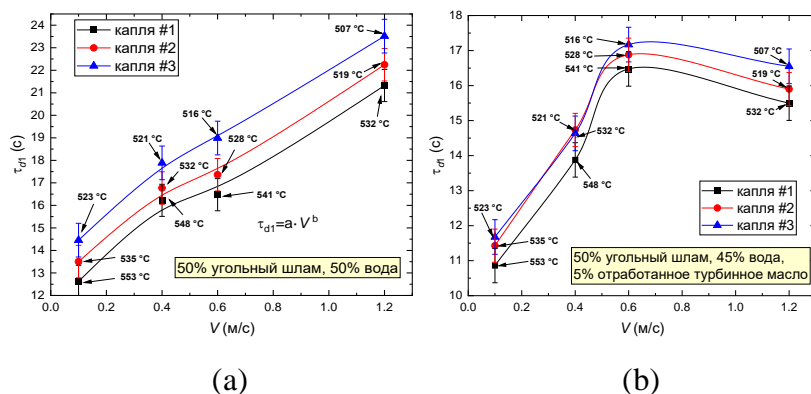


Рисунок 8 – Влияние скорости потока воздуха на время задержки газофазного зажигания капель топливных смесей: (а) ВУТ; (б) ОВУТ ( $L \approx 5$  мм)

Для капель ВУТ наблюдался значительный рост (в 1.4–1.6 раза) времени задержки газофазного зажигания при увеличении скорости нагретого воздуха (рис. 8а). Рост скорости потока от 0.1 м/с до 1.2 м/с приводил к снижению температуры в окрестности капель на 15–20 °С. Падение температуры происходило из-за недогрева воздуха в нагревательном элементе из-за большей скорости движения потока. На основе результатов предыдущих исследований (например, [25,26]), можно уверенно говорить, что указанное снижение температуры не могло быть главной причиной существенного изменения времени задержки зажигания. Очевидно, что влияние скорости потока воздуха здесь доминирует. Увеличение скорости потока усиливает эффект уноса выделившихся продуктов термического разложения. Отток газов от топливного образца приводит к тому, что требуется больше времени для достижения условий зажигания в газовой фазе. Этот фактор особенно важен при невысокой температуре нагрева и недостатке летучих в топливе (например, когда используется смесь высокозольных отходов или даже каменный уголь или антрацит). Поэтому при распылении капель возможен сценарий, когда поток

нагретого воздуха будет препятствовать быстрому зажиганию капель суспензионного топлива, особенно при низкой плотности капель в облаке и низкой температуре окислительной среды (близкой к температуре зажигания).

Также добавка масла приводила к тому, что капли топлива по-другому стали реагировать на рост скорости потока (рис. 7b): параметр  $\tau_{d1}$  возрастал примерно на 40 % в диапазоне скорости потока воздуха 0.1–0.6 м/с, а при дальнейшем увеличении скорости потока снижался (на 5–7 %). Это указывает на то, что эффект уноса продуктов термического разложения становится менее значимым, поскольку в формировании парогазовой смеси стали принимать участие и пары масла, которые характеризуются высокой реакционной способностью. При достаточно высокой скорости нагретого потока увеличивается интенсивность подвода тепла к поверхности капли и одновременно усиливается отток топливных газов. Однако использование высокорекреационного масла в составе суспензии позволяет компенсировать потери горючих компонентов и предотвратить дальнейший рост задержки газофазного зажигания.

Несмотря на малое отличие длительности предпламенной стадии для капель в группе (при  $L \approx 5$  мм), между ними определенно возникало взаимодействие. Это подтверждается тем, что в аналогичных условиях нагрева газофазное зажигание одиночной капли не было проявлено. Одиночная капля зажигалась в гетерогенном режиме. Времена задержки гетерогенного зажигания группы капель и одиночной капли при разных скоростях потока воздуха показаны на рис. 8. Группа капель ВУТ зажигались гетерогенно быстрее, чем одиночная. При этом группа капель суспензии с добавкой турбинного масла (ОВУТ) зажигалась гетерогенно позже, чем одиночная (рис. 5b) из-за достаточно длительной стадии пламенного горения. В течение этого времени (около 3–5 с) коксовый остаток недостаточно снабжается кислородом для устойчивого гетерогенного зажигания.

### 3 Системный анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации был выбран котел пеллетный ZOTA "Pellet", оснащенный вихревым горелочным устройством. Основной целью внедрения вихревого горелочного устройства является топка котла с помощью суспензионного топлива ВУТ.

Автоматические пеллетные котлы Zota Pellet серий 15s-100s с водяным контуром и двухшнековым механизмом подачи топлива, предназначены для теплоснабжения индивидуальных жилых домов и зданий коммунально-бытового назначения, оборудованных системой водяного отопления с принудительной циркуляцией.

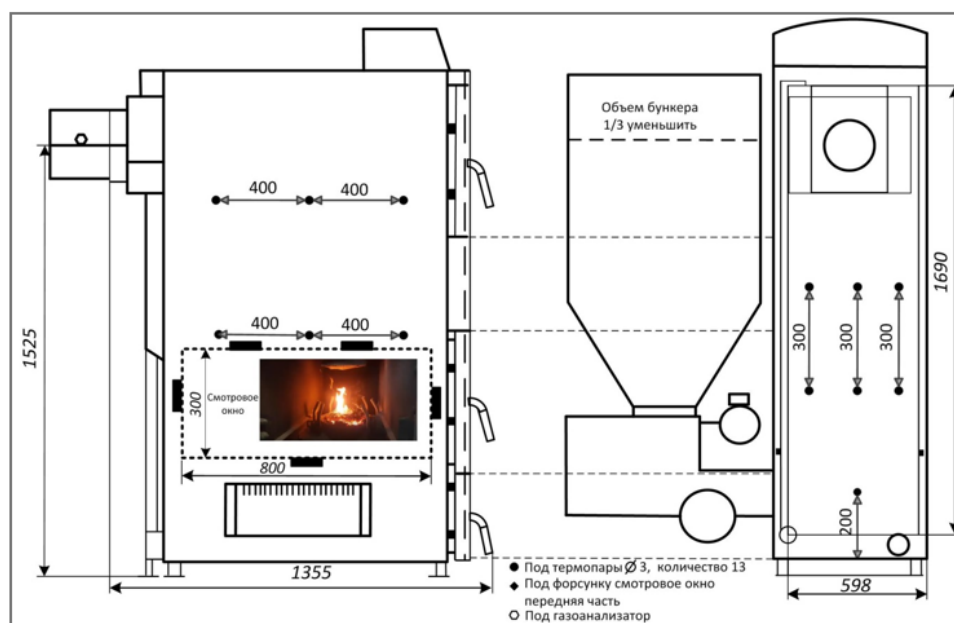


Рисунок 9 – Схематичный чертеж котла ZOTA Pellet 100 s с изменениями: отверстия термопар, смотровое окно, расположение форсунки (глубина топки 1000 мм)



Таблица 5 – Технические данные котельного агрегата

Параметры	Численное значение
Номинальная мощность, кВт	63
Кoeffициент полезного действия, %	90
Рабочее давление воды в котле, не более, МПа	0,3
Рабочий объем воды в котле, не менее, л	262
Температура воды в котле, °С	95
Глубина топки, мм	750
Диаметр дымохода, не более, мм	250
Присоединительная резьба штуцеров для подвода и отвода воды	G-2
Объем камеры сгорания, л	169
Объем бункера, л	662
Объем зольника, л	20
Глубина	1400
Ширина	1320
Высота	1840
Масса котла в комплекте, не более, кг	748
Разрежение за котлом, мин./макс., Па	15/34
Высота дымовой трубы, не менее, м	11
Диаметр дымовой трубы, не менее, мм	180
Ориентировочная отапливаемая площадь, при высоте потолка 2.7 м, м <sup>2</sup>	630

Таблица 6 – Основные измеряемые и регулируемые параметры

Перечень параметров	Номинальные значения
Регулируемые параметры	
Расход водоугольного топлива	8 - 28 л/ч
Расход первичного воздуха	500 м3 /ч
Расход вторичного воздуха	200 м3 /ч
Температура вторичного воздуха	До 1000 °С
Температура муфельного предтопка на входе	До 1000 °С
Температура муфельного предтопка на выходе	До 1300°С
Температура в барабане котла	До 95 °С
Контролируемые параметры	
Расход водоугольного топлива	8 – 28 л/ч
Расход первичного воздуха	500 м3 /ч
Расход вторичного воздуха	200 м3 /ч
Температура вторичного воздуха	До 1000 °С
Температура муфельного предтопка на входе	До 1000 °С
Температура муфельного предтопка на выходе	До 1300°С
Температура в барабане котла	До 95 °С
Температура дымовых газов	До 115 °С
Уровень в баке с топливом	До 100 %
Концентрация O <sub>2</sub>	5 %
Давление разряжения в топке котла	30 Па
Давление дымовых газов	25 А

#### 4 Разработка структуры АСУ ТП

Из емкости с водоугольным топливом топливо поступает в муфельный предтопок. Термоэлектрические преобразователи предоставляют информацию о температуре в муфельном предтопке, а также о температуре внутри котла и дренажной емкости. Расходомер, установленный в тракте подачи ВУТ в муфельный предтопок, предоставляет информацию о расходе водоугольного топлива. Автоматический газоанализатор поставляет данные о качественном составе дымовых газов. Уровнемеры, установленные в емкости с ВУТ, водой и дренаже показывают заполнение емкости.

Основываясь на показаниях внутри котла, контроллер формирует дискретный регулирующий сигнал, который поступает на пусковое устройство, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма.

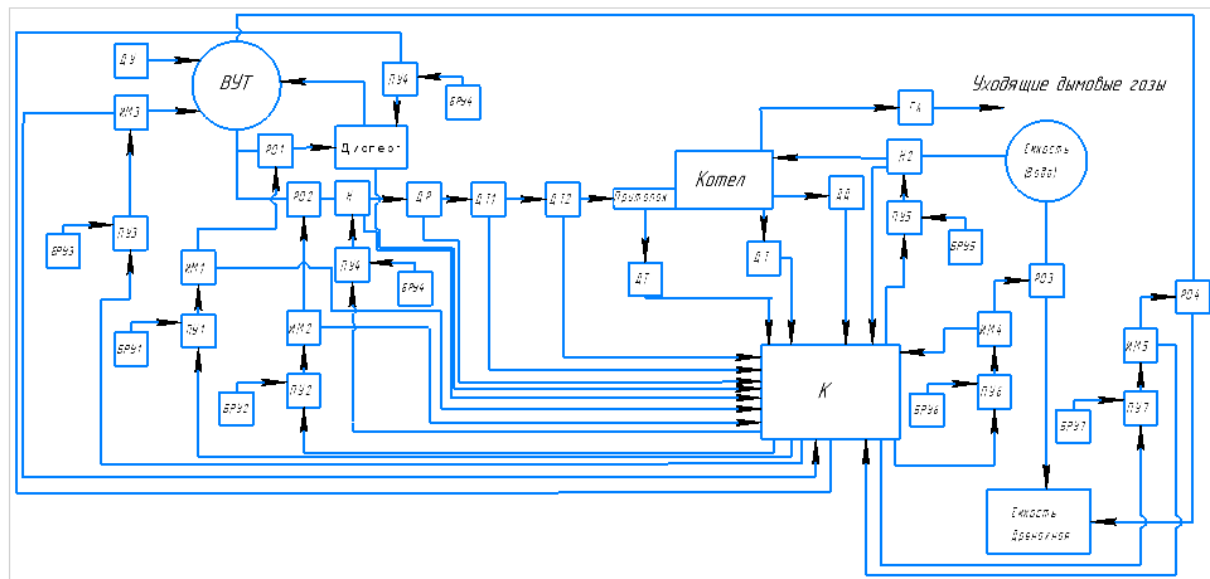


Рисунок 10 – Структурная схема разрабатываемой системы: ДТ – датчик температуры; ДД – датчик давления; К – контроллер; ДТ – датчик расхода; РО – регулирующий орган; ИМ – исполнительный механизм; ПУ – пусковое устройство; ГА – газоанализатор

В данной системе с помощью датчика температуры в муфельном предтопке и датчика температуры в котле и сигнал с датчика о составе выходящих дымовых газов, которые передаются на ПЛК. ПЛК обрабатывает поступающие сигналы и при изменении температуры в муфельном предтопке, вырабатывает управляющие воздействия, которые отправляет на пусковые устройства ПУ2. Пусковое устройство ПУ2 производит запуск исполнительного механизма ИМ2. Вал исполнительного механизма вращается и изменяет положения регулирующего органа РО2, тем самым изменяя расход топлива. Информация о положения регулирующего органа РО2 поступает на ПЛК.

Структура системы регулирования тепловой нагрузки представлена на схеме ФЮРА.421000.007 С1.

## 5. Разработка функциональной схемы АСУ ТП

При разработке функциональной схемы розжига парового котла с муфельным предтопком, с помощью муфельного предтопка должны быть решены следующие задачи:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- стабилизация технологических параметров процесса;
- контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования

Функциональная схема автоматизированной системы управления муфельным предтопком, разработанная в данном курсовом проекте, представлена на листе ФЮРА.421000.007 С2.

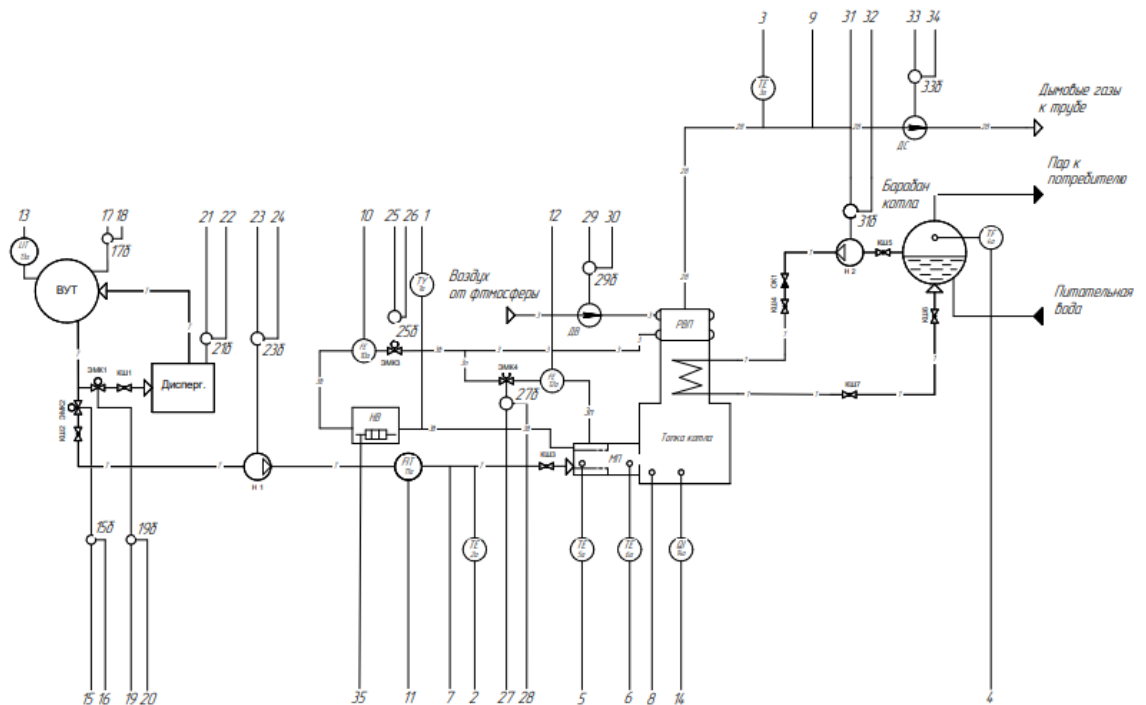


Рисунок 11 – Фрагмент функциональная схема

Первичные измерительные преобразователи, регулирующие органы и исполнительные механизмы изображаются на функциональной схеме в виде

окружности. От них выводятся линии связи с номером измерительного или управляющего канала.

Далее линии связи идут к прямоугольнику с названием «Щит управления», на котором изображен контроллер, а также к АРМ оператора.

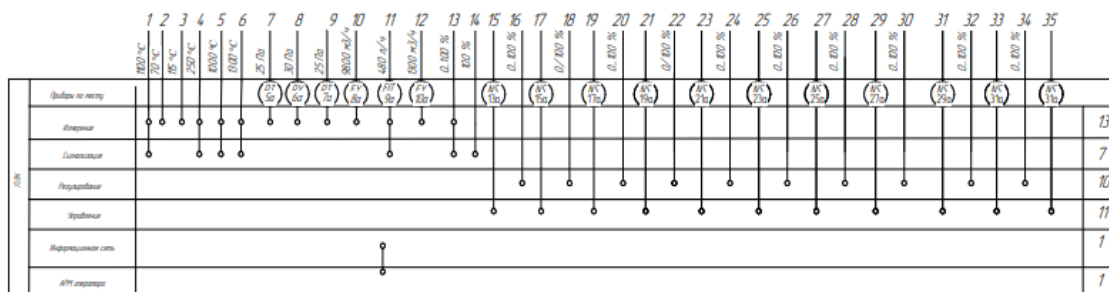


Рисунок 12 – Фрагмент функциональная схемы

Измерительные каналы 1 – 6 формируют сигналы о величине температуры в муфельном предтопке, в топке котла, в дренажной емкости и в тракте с подачей воздуха в предтопок. Измерительные каналы 7, 8 и 9 формируют сигнал о давлении в тракте с ВУТ, в топке котла и о изменении давления в дымоотводе. Измерительный канал 10,11 и 12 формирует сигнал о расходе водоугольного топлива, подаваемого в муфельный предтопок и расходе воздуха. Измерительный канал 13 формирует сигнал о величине концентрации СО в дымовых газах. Измерительный канал 14 формируют сигнал о заполнение емкости с ВУТ. По измерительным каналам 15 - 35 в ПЛК поступают различные данные. Основываясь на показаниях с датчиков, контроллер формирует дискретный регулирующий сигнал, который поступает на пусковое устройство, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма.

## 6. Составление опросных листов на приборы и средства автоматизации

Опросные листы на ТСА необходимы при разработке системы автоматизации, поскольку между выбором оборудования и его закупкой/внедрением может пройти достаточно большой период времени, за который выбранное оборудование может быть снято с производства, либо могли появиться более подходящие по тем или иным критериям варианты. Наличие опросных листов позволяет быстро осуществить подбор альтернативного оборудования, ориентируясь на ранее заложенные в них требования.

## 7. Технические средства системы управления, составление спецификации

В ходе проектирования системы розжига парового котла с муфельным притопком отдавалось предпочтение оборудованию и средствам автоматизации, которые выпускаются серийно отечественными предприятиями. Это упрощает закупку оборудования, обеспечивает наиболее полную поддержку со стороны производителя. Кроме того, предпочтение отдавалось унифицированным техническим средствам, так как это обеспечивает взаимозаменяемость, упрощает подключение друг с другом и формирование комплекта запасного имущества и принадлежностей.

При выборе оборудования необходимо учитывать предельные значения измеряемых параметров, а также условия, в которых возможна эксплуатация выбираемого оборудования. Кроме того, важно учитывать характеристики выходных сигналов выбранных технических средств.

### 7.1 Датчики температуры

В разработанной системе розжига парового котла с муфельным притопком измеряется температура в вихревом горелочном устройстве в начале и конце горелки, температура внутри котла, а также температура дымовых газов. Компания «ОВЕН» предлагает большой выбор датчиков для измерения температуры. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

Преобразователь термоэлектрический ТП-Б-У

4-20мА/0,5/И/П/ (0...+1250)/120/10/-/-/НШ/250/-/М20х1,5/Д/-/ЛГ/Л  
Р65/(ХН45Ю)





Рисунок 13 – Преобразователь термоэлектрический ТП-Б-У

Преобразователи термоэлектрические ТП-Б-У (далее термопары), предназначены для измерения температуры газообразных, сыпучих, твердых и жидких веществ в различных отраслях промышленности. По способу контакта с измеряемой средой термопары подразделяются на: - погружаемые; - поверхностные.

Для измерения температуры дымовых газов, температуры в топке котла и температуры внутри горелочного устройства был выбран преобразователь термоэлектрический ТП-Б-У ХН45Ю со встроенным нормирующим преобразователем. Связь с контроллером осуществляется посредством аналогового унифицированного токового сигнала 4...20 мА. Основные характеристики выбранного термоэлектрического преобразователя представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Основные характеристики термоэлектрического преобразователя ТП-Б-У ХН45Ю

Наименование характеристик	Значение
Диапазон измеряемых температур, °С	от 0 до +1250
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	± 1,0

Продолжение таблица 7 – Основные характеристики термоэлектрического преобразователя ТП-Б-У ХН45Ю

Класс допуска	2
Номинальное значение напряжения питания (постоянного тока), в	24
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP65

Термоэлектрический преобразователь ТС-Б-У /-/ (4-20) мА/± 0,25/П/(от – 20 до +100)/1000/10/-/-/НШ/120/-/М20х1,5/Д/-/ЛГ/IP65/-



Рисунок 14 – Преобразователи термоэлектрические ТП-Б-У

Преобразователи термоэлектрические ТП-Б-У, предназначены для измерения температуры в первичном и вторичном тракте подачи воздуха в муфельный предтопок а также для измерения температуры в баке с водой и ВУТ.

## 7.2 Датчики давления

Для измерения давления в барабане котла необходимо использовать средства измерения давления. Датчики давления работают по разному принципу

и имеют различные характеристики. Основные критерии выбора датчиков давления:

- тип измеряемого давления;
- тип измеряемой среды;
- диапазон измерений;
- погрешность измерений;
- параметры окружающей среды;
- тип выходного сигнала датчика давления;
- присоединение к процессу.

Датчик давления ИД F И Ти (4–20) мАНART7 (0...1,0) ( $\pm 0,2$ ) t(–40...+70)M20x1,5 И2 ПГР65



Рисунок 15 – Датчик давления ИД F И Ти

Датчики ИД-F предназначены для непрерывного измерения и преобразования величины измеряемого параметра – абсолютного (А) и избыточного (И) давления, в том числе вакуумметрического, вакуумметрического-избыточного (И), гидростатического давления и разности давлений (Р) нейтральных и агрессивных сред, газообразного кислорода и

кислородосодержащих газовых смесей в унифицированный электрический выходной сигнал постоянного тока или напряжения постоянного тока, так же в цифровой сигнал для передачи по протоколам HART или Modbus RTU. Датчики модификации «И» могут применяться для измерения гидростатического давления жидкостей в открытых емкостях. Датчик устанавливается в топливном тракте и возле дымохода. Технические характеристики датчика давления типа ИД F И Ти приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики датчика давления ИД F И Ти

Наименование	Значение
Тип измеряемого давления	Избыточное
Тип измеряемой среды	Вода
Диапазон измерений	0...4 МПа
Выходной сигнал	4...20 мА, HART
Доп. функция	Извлечение квадратного корня

#### Давление разряжения

Датчик давления АДН (АДР) – малогабаритное изделие, в котором совмещены функции первичного датчика и вторичного прибора. Измеритель построен на современной элементной базе с использованием технологии лазерной калибровки и микропроцессорной обработки результатов измерений.



Рисунок 16 – Датчик давления АДН (АДР)

Отличительные особенности многопредельных измерителей АДН (АДР):

- три диапазона в одном приборе;
- датчик измерения давления и разрежения;
- количество уставок – до 3;
- класс точности – 1/2.5;
- линейная и цифровая индикация;
- токовый выход – 4–20 мА;
- напряжение питания – 12...27 В;
- потребляемый ток – не более 75 мА.

### 7.3 Расходомер

Расходомер в данной системе используется для измерения расхода ВУТ, подаваемого в муфельный предтопок.

- 1) Ультразвуковой расходомер US – 800



Рисунок 17 – Расходомер масла US-800

Расходомер масла US-800 (счетчик масла) применяется для технологического учета и контроля расхода и объема ВУТ, протекающего под напором в трубопроводе, независимо от направления потока. Расходомер US-800 также применяется для технологического измерения нефти, нефтепродуктов, дизельного топлива, мазута, масел, и др. вязких жидкостей, в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами.

Основные характеристики: давление до 1,6 МПа, степень защиты IP67/68, выходной сигнал 4 – 20 мА.

2) E772 промышленный расходомер сжатого воздуха и газов измеритель расхода воздушных сред.

EE772 устанавливает новые стандарты точности измерений благодаря заводской калибровки 7 бар. Доступна компенсация динамического давления через 2-проводной вход 4–20 мА. Чувствительный элемент с горячей пленкой E + E, использующий новейшую тонкопленочную технологию, отличается превосходной долгосрочной стабильностью, быстрым временем отклика и выдающейся надежностью. Данный расходомер используется для замера расхода воздуха на первичную подачу воздуха.

#### 7.4 Уровнемер

1) Уровнемер микроволной Леветач М

Применяется для непрерывного измерения уровня жидкостей и сыпучих сред с погрешностью от  $\pm 3$  мм. Уровнемер работает по принципу измерения времени прохождения импульса вдоль волновода до поверхности измеряемой среды и обратно.

Основные характеристики: давление измеряемой среды до 42 МПа, степень защиты IP65, электрический выход 4...20 мА / HART.

Для измерения уровня заполнения в емкости с ВУТ подойдет микроволновой уровнемер Леветач М. Так как он используется для измерения уровня не только жидкости, но и сыпучих сред.

### 7.5 Газоанализатор

Газоанализаторы серии АНГОР-С позволяют производить всесторонний мониторинг опасных концентраций горючих газов и паров нефтепродуктов в потенциальных опасных местах.



Рисунок 18 – Газоанализаторы серии АНГОР-С

Датчики могут монтироваться в помещениях и на открытых площадках, относящихся к зонам 1 и 2, а большой яркий графический дисплей отображает текущую концентрацию по месту эксплуатации прибора.

Основные характеристики: выходной сигнал 4...20 мА / HART, питание от 12 до 36 В.

### 7.6 Кран шаровый

Отличительной особенностью шаровых кранов Ду50 Ру40 фланцевых является их долговечность и износоустойчивость. Краны прослужат порядка 25 лет или, другими словами, 10 000 циклов «открытия и закрытия».

Что касается конструкции, то корпус кранов шаровых изготавливается из стали (углеродистой, легированной или коррозионностойкой). Рабочим элементом является шар, выполненный из стали нержавеющей. Седловое уплотнение – из фторопласта (PTFE), благодаря данному уплотнению его износ практически исключается.

Основные характеристики: Кран шаровой фланцевый стальной с диаметром условного прохода Ду=50, рабочее давление 40 атм, фланцевое соединение.

### 7.7 Клапан обратный

Клапаны обратные шаровые применяются для защиты системы трубопровода от возможных потоков рабочей среды в обратном направлении. Ограничителем обратного потока выступает стальной шар, покрытый защитным слоем резины NBR. Основные характеристики: материал корпуса чугун GGG50, соединение фланцевое, номинальное давление 16 бар.

### 7.8 Клапан электромагнитный

Электромагнитный клапан – устройство, предназначенное для регулирования потоков всех типов газов. Он состоит из корпуса, соленоида с сердечником, на котором установлен диск или поршень.

Основные характеристики: максимальное рабочее давление 12 бар, материал уплотнения NBR, напряжение AC 220V 50/60 Гц, AC 110V 50/60 Гц, AC 24V 50/60 Гц, DC 24V, DC 12V.

### 7.9 Насос

Поверхностный насос Вихрь ПН-650 предназначен для подачи под давлением чистой воды в дом, для орошения сада и огорода. Вода не должна содержать абразивных или волокнистых, а также химических составных частей, которые могли бы повредить материал деталей насоса. Модель оснащена



вихревым насосом, что обуславливает высокий напор при небольшой входной мощности. Мощность насоса составляет 650 Вт, этого хватает для поднятия воды на высоту 45 метров, при этом производительность составит 55 литров в минуту. Корпус насоса выполнен из чугуна, переходный фланец - алюминиевый. В конструкции предусмотрено плоское основание для прочной и надёжной установки.

Основные характеристики: мощность 650 вТ, высота подъема воды 45м, производительность 55 л/мин, диаметр входного/выходного отверстия 1 дюйм (25,4 мм).

#### 7.10 Гомогенизатор

Гомогенизатор позволяет одновременно производить диспергирование, гомогенизирование и перекачивание продукта с повышением давления на выходе. Специальная конструкция гомогенизатора (две рабочие камеры), специальная геометрия корпуса (с отсутствием «мертвых зон») и вращающихся рабочих частей обеспечивает высокую производительность.

Основные характеристики: Насос-гомогенизатор, производительность 16 м<sup>3</sup>/ч, напор 20 м, диаметр входного/выходного патрубка DN50, число оборотов двигателя 2840 об/мин.

## 8. Проектирование схемы внешних проводок

На схемах внешних электрических и трубных проводок изображают прокладываемые вне щитов электрические провода, кабели, импульсные, командные, питающие, защитные трубы, короба, лотки и металлорукава с указанием их номера, типа (марок) и длин. На чертежах этих схем в виде условных обозначений изображаются:

- 1) отборные устройства и первичные преобразователи, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы;
- 2) приборы и средства автоматизации, устанавливаемые вне щитов и пультов;
- 3) щиты, пульты и т.п.;
- 4) вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термопар и т.п.);
- 5) устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников.

В верхней части схемы расположена таблица с обозначениями измеряемых параметров, измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения измерительных приборов. Ниже расположены условно изображенные датчики, от которых отходят кабели, обозначенные на чертеже линиями, прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также протяженность. Линии, проведенные от датчиков, соединены с прямоугольником, обозначающим шкаф автоматизации. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков. В правой части чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для регулирования технологического параметра, путем подачи на них дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики. От каждого датчика температуры и расхода измеряемый параметр передается в виде унифицированного аналогового сигнала 4...20 мА по двухпроводной схеме.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами. В цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т.п. (в том числе в цепях телемеханических устройств) допускается применять провода и кабели с медными жилами.

Для прокладки в пластмассовых и стальных защитных трубах (в металлических рукавах) должны применяться провода с сечением медных жил не менее 1 мм<sup>2</sup>, алюминиевых - 2 мм<sup>2</sup>, обладающих достаточной механической прочностью, необходимой для выполнения затяжки этих проводов в трубы.

Помимо требований к материалу проводников (медь и алюминий) и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей особое внимание должно уделяться соответствию их технических данных условиям окружающей среды. Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покрытия проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки.

Для организации кабельной разводки предполагается установить клеммную коробку КСК-16 на группу измерительных преобразователей. Для соединений измерительных и исполнительных устройств использовались кабели КРВГ. Данные кабели предназначены для прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях, обладают изоляцией из резины и оболочкой из ПВХ, а также не имеют защитного покрова. Токопроводящая жила – медная.

Монтажная схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на ФЮРА.421000.007.С4.

## 9. Разработка электрической схемы соединений щита управления

Схема соединений определяет конструктивное выполнение электрических соединений элементов в изделии. На схеме изображаются все устройства и элементы, входящие в схему, а также соединения между ними. Устройства изображаются в виде прямоугольников, элементы – в виде условных графических изображений, установленных в ЕСКД. Около условных графических обозначений устройств и элементов указывают позиционные обозначения. На схеме необходимо указывать обозначения выводов (контактов) элементов, нанесенные на изделие или установленные в документации изделия. Проводам, жгутам, кабелям на схеме присваиваются порядковые номера.

Для разработки схемы соединений необходимо выполнить ряд действий:

- 1) нанести на схему технические средства автоматизации с соответствующими стандартами;
- 2) произвести соединение проводок с клеммами устройств по требованиям завода изготовителя оборудования;
- 3) произвести нумерацию проводников.

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

На первом листе изображена схема обеспечения питанием элементов внутри шкафа. Шкаф автоматизации питается от двухфазной цепи переменного тока с напряжением 220 В. Для обеспечения безопасной работы оборудования в шкаф устанавливаются автоматические выключатели QF1...QF3 и штекерный модуль для защиты от перенапряжений Z01. Блок бесперебойного питания QUINT-UPS/1AC/24DC/5 выполняет функции трансформации переменного тока сети с напряжением 220 В в постоянный с напряжением 24 В. В шкафу установлена розетка XS1 на ~220 В для удобства обслуживания оборудования. Также в шкафу установлена компактная лампа дневного света EL1 которая автоматически загорается при открывании двери шкафа в результате

срабатывания концевого выключателя SQ1. Для поддержания температуры эксплуатации оборудования в шкафу установлен вентилятор M1, приводимый в действие термореле КК1. Также на первом листе показано подключение модулей контроллера посредством промышленного коммутатора.

На втором листе изображен ввод аналоговых сигналов на модуль аналогового ввода А2 и подключения газоанализатора посредством RS-485 к процессорному модулю А1. Для обеспечения гальванического разделения непрерывных сигналов предполагается применение преобразователей измерительных разделительных – ЕТ 422 (производства АО "ЭлеСи", Российская Федерация). Каждый унифицированный сигнал 4...20 мА заведем на отдельный токовый ввод преобразователя измерительного разделительного (по два сигнала на одно устройство, т.к. ЕТ 422 – двухканальный). От выходов измерительных преобразователей сигнал направляется на модуль аналогового ввода контроллера.

На третьем листе изображена схема управления исполнительным механизмом регулирующего органа и насосами. Также от данных устройств приходят сигналы состояния. Данные сигналы работают по принципу подачи напряжения или обрыва цепи.

Разработанная в данном разделе схема соединений представлена на ФЮРА.421000.007.Э4. Разработанный к данной схеме перечень элементов представлен на ФЮРА.421000.007 ПЭ4.

## 10. Разработка сборочного чертежа щита управления

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации. Учитывая конструктивные особенности, а также степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы управления климатом, выберем щит Rittal. Щиты Rittal предназначены для размещения аппаратуры управления, сигнализации и автоматики. Конструкция щитов представляет собой металлический сборный корпус напольного исполнения [35]. Подвод кабелей осуществляется снизу. Степень защиты щита: IP66.

Сборочный чертеж щита представлен на чертеж ФЮРА.421000.007 СБ.

## 11. Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы

Мнемосхема представляет собой графическое изображение функциональной схемы управляемого или контролируемого объекта. Таким образом, схема может описывать технологический процесс с программным управлением. Мнемосхема предназначена для работы оператора с производственным процессом, в процессе управления мнемосхема является источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов.

Требования, предъявляемые к мнемосхеме, устанавливает предприятие, для которого она предназначена. В данной работе схема разрабатывалась в соответствии с общими требованиями:

- 1) мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом;
- 2) отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;
- 3) форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствии с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема АСУ ТП безмазутная растопка, которая приведена на рисунке 18.

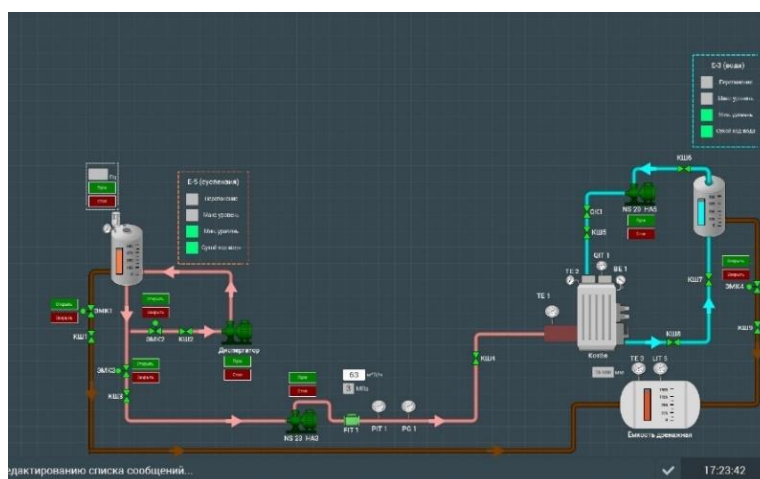


Рисунок 19 – Мнемосхема АСУ ТП безмазутная растопка

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ13	Опрышко Михаил Александрович

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОКД</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 20%.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
<i>2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка результатов исследования

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Диаграмма Ганта</li> </ol>	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ13	Опрышко М.А.		



## 12. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### Ведение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

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

#### 12.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Таблица 9 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б	Г	А	К <sub>Б</sub>	К <sub>Г</sub>	К <sub>А</sub>
Повышение пожаробезопасности на АЗС	0.16	4	5	5	0.64	0.8	0.8
Удобство в эксплуатации	0.19	3	3	4	0.57	0.57	0.76
Безопасность проекта	0.14	5	3	4	0.7	0.42	0.56
Конкурентоспособность проекта	0.11	5	2	2	0.55	0.22	0.22
Распространение проекта на рынке	0.05	2	5	4	0.1	0.25	0.2
Срок актуальности	0.15	4	2	2	0.60	0.3	0.3
Срок реализации проекта	0.10	2	4	5	0.20	0.4	0.5
Наличие сертификата на научную работу	0.10	2	4	5	0.20	0.4	0.5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>3.46</b>	<b>3.36</b>	<b>3.89</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_j$  – балл показателя.

$$K_B = 0.19 * 4 + 0.19 * 3 + 0.14 * 5 + 0.11 * 5 + 0.05 * 2 + 0.15 * 4 + 0.10 * 2 + 0.10 * 2 = 3.46$$

$$K_G = 0.19 * 5 + 0.19 * 3 + 0.14 * 3 + 0.11 * 2 + 0.05 * 5 + 0.15 * 2 + 0.10 * 4 + 0.10 * 4 = 3.36$$

$$K_A = 0.19 * 5 + 0.19 * 4 + 0.14 * 4 + 0.11 * 2 + 0.05 * 5 + 0.15 * 2 + 0.10 * 5 + 0.10 * 5 = 3.89$$

Полученный коэффициент исследования равен  $K = 3.89$ , что говорит о том, что конкурентоспособность находится выше среднего

### 12.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которой описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (таблица 9)

Таблица 9 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Снижение пожароопасности на АЗС	Сл1.Монтаж нового оборудования
С2. Улучшение систем пожаротушения	Сл2.Отсутствие бюджетного финансирования.
С3. Научная актуальность	
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Повышениестоимости конкурентных разработок	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства
	У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования
	У3. Изменение цен на оборудования пожаротушения

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 8–9.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
		B1	+	+	+

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
		B1	-	-

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы Проекта		C1	C2	C3	C4	
		У1	+	+	-	+
		У2	+	-	+	+
		У3	+	+	-	+

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы Проекта		Сл1	Сл2	Сл3	
		У1	+	+	-
		У2	+	-	+
		У3	-	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 14.

Таблица 14 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1Сжигание отходов угольной промышленности</p> <p>С2Улучшение систем подачи топлива в котел</p> <p>С3Научная актуальность</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1Монтаж нового оборудования</p> <p>Сл2Отсутствие бюджетного финансирования.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1Повышениестоимости конкурентных разработок</p>	<p>Улучшение подачи топлива в топку, улучшение технических характеристик увеличит конкурентоспособность</p>	<p>Улучшение подачи топлива в топку повышает конкурентоспособность.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p> <p>У3Изменение цен на оборудования пожаротушения</p>	<p>Сжигание ВУТ снижает затраты на топливо.</p>	<p>В связи с несвоевременным финансированием, и увеличением цен на оборудование для пожаротушения, работа может оказаться невостребованной</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

## 12.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 12.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Разработка технического задания	1	Выбор и утверждение темы исследования	Научный руководитель, студент
Выбор направления исследований	2	Определение этапов и сроков исследования	Инженер
	3	Изучение литературы по теме исследования	Инженер
	4	Анализ и обобщение информации по теме исследования	Инженер

Продолжение таблицы 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Обоснование НИР выбор метода исследования	Научный руководитель, Инженер
	6	Проведение исследования	Инженер
	7	Обработка результатов исследования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Формулирование выводов исследования	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Оформление НИР	Инженер

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

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (12.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (12.2)$$

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

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (12.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (12.3)$$

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

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (12.4)$$

где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году (2020 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчеты временных показателей

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители $T_{чi}$	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ чел-дни	$t_{max}$ чел-дни	$t_{ожі}$ чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	4	2	Научный руководитель	2	2



Продолжение таблицы 16 – Расчеты временных показателей

Календарное планирование работ по теме ВКР	1	3	1,8	Инженер	2	2
Поиск и изучение материалов по теме	3	7	5	Инженер	4	5
Выбор направления исследований	1	2	1,4	Инженер	1	1
Проведение анализа литературы по теме ВКР	7	12	9	Инженер	9	11
Проведение исследования	5	12	8,5	Инженер	7	9
Согласование полученных данных с научным руководителем	5	8	6,2	Инженер, научный руководитель	6	7
Подготовка образцов к исследованию	1	3	1,8	Инженер	2	2
Проведение эксперимента	6	12	8,4	Инженер	8	10
Обработка полученных данных	8	13	10	Инженер, научный руководитель	10	12
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	7	11	8,6	Инженер	9	11
Работа над выводами по проекту	5	9	6,6	Инженер	7	9
Оценка эффективности полученных результатов	11	14	12,2	Инженер, научный руководитель	12	15

*Примечание:* Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – Инженер

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 17).

Таблица 17 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T <sub>кi</sub> кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4													
2	Календарное планирование выполнения работ	Исп1 Исп2	4	■												
3	Изучение литературы и конкурентных решений в данной сфере	Исп2	11		■	■										
4	Выбор метода блокировки	Исп2	6			■										
5	Проектирование блокиратора пусковых кнопок	Исп1 Исп2	7			■	■									
6	Подготовка чертежей для изготовления	Исп2	9				■	■								
7	Изготовление промышленного блокиратора пусковых кнопок	Исп2	25					■	■	■						
8	Проведение расчетов и обоснований по теме НИР	Исп2	18								■	■				
9	Анализ полученных результатов	Исп1 Исп2	5									■	■	■	■	
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13											■	■	■

Примечание: ■ – Исп. 1 (научный руководитель), ■ – Исп. 2 (инженер)

### 12.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

### 12.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического

исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Таблица 18 –материальный затраты

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Бумага А4	пачка	1	350	350
Картридж для принтера	шт	1	1550	1550
Карандаш простой	шт	2	15	30
Ручка шариковая	шт	1	30	30
Ручка гелевая	шт	1	70	70
Папка-файл	шт	3	10	30
Папка-скоросшиватель	шт	2	25	50
Степлер	шт	1	50	50
<b>Итого:</b>				1920

### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где  $n$  – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{N_A I}{12} \cdot m,$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$m$  – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$N_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{N_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 60000}{12} \cdot 3 = 4950 \text{ руб}$$

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Asus. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 19 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$N_A$ , %	Цена оборудования, руб	Амортизация
Компьютер, в т.ч.;	1	4	0,1	6	15650	2347,5
Системный блок	1	5	0,16	7	8990	1348,5
Монитор	1	3	0,1	5	3550	532,5
Манипулятор-мышь	1	4	0,16	6	350	52,5
Клавиатура	1	5	0,1	4	690	103,5
Сетевой фильтр	1	3	0,16	5	230	34,5
Принтер	1	5	0,1	8	2600	390,0
<b>Итого:</b>						4809,0

### 12.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (12.7)$$

где  $Z_{он}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{45968 \cdot 10,4}{192} = 2490 \text{ руб} \quad (12.8)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_o$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней –  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{15600 \cdot 11,2}{212} = 824 \text{ руб} \quad (12.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 22000 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 45968 \text{ руб} \quad (12.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 8000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 15600 \text{ руб} \quad (12.11)$$

где  $Z_{мс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_o$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 20 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_{р}, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	22000	0,3	0,3	1,3	45968	2490	13,5	33615
Инженер	8000	0,3	0,2	1,3	15600	824	68,5	56444
Итого:								90059

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 33615 = 5042,25 \text{ руб.} \quad (12.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 56444 = 8466,6 \text{ руб.} \quad (12.13)$$

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

#### 12.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (33615 + 5042,25) = 11597,2 \text{ руб.} \quad (12.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (56444 + 8466,6) = 19473,2 \text{ руб.} \quad (12.15)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### 12.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 22 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
4809	1920	90059	13508,8	31070,4	141387,2

Величина накладных расходов определяется по формуле (12.16):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = 141387,2 \cdot 0,2 = 28277,44 \quad (12.16)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

### 12.3.6 Бюджет НИР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «повышение противопожарной безопасности АЗС.» по форме, приведенной в таблице 23. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 23 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
		Текущий Проект	
1	Материальные затраты НИР	1920	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	4809	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	90059	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13508,5	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	31070,4	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	28277,44	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		169664,34	Сумма ст. 1-6



## 12.4 Определение бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурс эффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{169664,34}{169664,34} = 1$$

Интегральный показатель ресурс эффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{ri} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{ri}$  – интегральный показатель ресурс эффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

<b>Объект исследования</b> <b>Критерии</b>	<b>Весовой коэффициент параметра</b>	<b>Текущий проект</b>
1. Безопасность при использовании блокиратора	0,15	5
2. Надежность	0,3	5
3. Помехоустойчивость	0,2	4
4. Механические свойства	0,2	4
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>	<b>4,45</b>

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,45$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурс эффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} = \frac{4,45}{1} = 4,45$$

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

<b>№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Текущий проект</b>
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1

Продолжение таблицы 25 – Сравнительная эффективность разработки

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45
3	Интегральный показатель эффективности	4,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1

Выводы по разделу

В ходе работы была выполнена цель – Планирование и расчёт эффективности проектирования системы АСУ ТП розжига парового котла

Потенциальные потребители результата исследования на территории города Томск.

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных промышленных блокираторов пусковых кнопок является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 169664,34руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 1, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,45;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,45, что является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
5БМ13		Опрышко Михаил Александрович	
<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение контроля и диагностики</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСУ ТП воспламенения твердого топлива в муфельном предтопке котла

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

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><i>Объект исследования: АСУ ТП розжиг парового котла с муфельным предтопком</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Рабочая зона: лаборатория</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Размеры помещения: 10*20 м.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: паровой котел Zotak, ПК, весы, предтопок.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: нагрев, сбор, анализ и обработка информации об изменении показателей температур в котле.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> <p style="text-align: center;">Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.</p> <p style="text-align: center;">ПНД Ф 12.13.1-03 «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)</p> <p style="text-align: center;">ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенный уровень шума;</li> <li>2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> </ol> <p style="text-align: center;">Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;</li> <li>2. Связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</li> </ol> <p style="text-align: center;">Использование средств коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p>

	защитный халат, защитные очки, защитные перчатки  Расчет: расчет системы искусственного освещения
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	Воздействие на селитебную зону отсутствует Воздействие на литосферу отходы люминесцентных ламп Воздействие на гидросферу отсутствует Воздействие на атмосферу продукты сжигания ВУТ
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	Возможные ЧС 1. природные – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2. техногенные – пожар, несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа) Наиболее типичная ЧС: пожар
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Опрышко Михаил Александрович		

## 13. Социальная ответственность

### Введение

Целью раздела «Социальная ответственность» является выявление и анализ вредных и опасных факторов, имеющих на объекте, в данном случае лаборатория, и разработка мер по снижению воздействия этих факторов на персонал, а также принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в испытаниях и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

При этом необходимо следовать правилам, нормам, инструкциям и прочим документам, закрепленным в нормативно-правовых актах. Социальная ответственность должна обеспечивать: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение вредных воздействий на окружающую среду; экономное расходование не возобновляемых природных ресурсов.

Рабочее место лаборанта – кабинет, оснащенный необходимым оборудованием для проведения исследовательских работ (термоанализаторы, установки для испытания материалов на возгораемость, муфельный предтопок и т.д.). Кроме того, кабинет оснащен техникой и другими объектами: персональный компьютер (совокупность из монитора, системного блока, клавиатуры, мыши и проводов для подключения описанных выше устройств), столы и стулья, распределительный щиток, огнетушители, кондиционер, местная вытяжная вентиляция.

Работа лаборанта заключается в сборе, анализе и обработке информации об изменении показателей температур в муфельном предтопке и котле.

### 13.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

#### Правовые нормы трудового законодательства

Научно-исследовательская работа осуществлялась в испытательной пожарной лаборатории г.Томска.

Продолжительность рабочего времени, а именно начало и его окончание определена по соглашению сторон работодателя и работника в соответствии с главой 16 ст. 102 ТК РФ «Работа в режиме гибкого рабочего времени» [461].

Выполнение работ связано с воздействием вредных и (или) опасных факторов производственной среды, в связи с чем, работникам бесплатно выдаются средства индивидуальной защиты и смывающие средства, в соответствии с главой 36 ст. 221 ТК РФ «Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты» Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [46].

Лаборант допускаются к исполнению своих работ только после вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности. Проведение всех видов инструктажа регистрируется в журнале. Работа в лаборатории начинается с осмотра оборудования, наведения порядка на рабочем месте, применение индивидуальных средств защиты по ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [48].

При проведении специальной оценки условий труда на рабочем месте, работник вправе обращаться к эксперту, проводящей специальную оценку условий труда с предложениями по осуществлению на его рабочем месте идентификации потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов и за получением разъяснений по вопросам проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. №426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" [48].

13.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78[49]. Оно должно занимать площадь не менее 6 м<sup>2</sup>, высота помещения должна



быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина – 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами лаборанта и экраном видеодисплея должно составлять (40 – 80) см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

### 13.3 Производственная безопасность

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы [50]. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 26 – Производственная безопасность

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

Продолжение таблица 26 – Производственная безопасность

<p>Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения</p>	<p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05- 95*</p>
<p>Связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека</p>	<p>ГОСТ Р 51337-99 Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей.</p>
<p>Связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий</p>	<p>ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов</p>

#### 13.4 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

##### **Превышение уровней шума**

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление

памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца. Требования по допустимому уровню звукового давления, звука и эквивалентных уровней звука выполняются в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [8].

В лаборатории основным источником шума являются: местная вытяжная вентиляция и компьютерные охлаждающие вентиляторы. Уровень шума в первом случае варьируется от 45 до 50 дБА, во втором – от 35 до 40 дБА. При этом уровень шума при выполнении основных работ на рабочем месте не должен превышать 82 дБА.

Для снижения уровня шума в соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 [9]. рекомендуется использоваться следующие методы и средства защиты от шума:

- правильная организация труда и отдыха;
- снижение и ослабление шума;
- применение звукопоглощающих преград (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов (керамзит, шамотный кирпич));

В соответствии с допустимыми нормами, которые описаны выше, можно выработать следующие средства индивидуальной защиты: применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники противорумные, вкладыши противорумные (беруши), антифоны.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Согласно СП 52.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*[10], в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса, при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

## Расчёт искусственного освещения

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Длина помещения  $A = 5000$  мм, ширина  $B = 4000$  мм, высота = 3500 мм. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1000$  мм.

Согласно СП 52.13330.2016 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}^2,$$

Где  $A$  – длина, м;  $B$  – ширина, м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_n = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен  $\phi_{л\delta} = 2600$  лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна  $s = 1227$  мм, ширина –  $d = 265$  мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$H = h_n - h_p,$$

Где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,00 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,0 = 2,2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{4}{2,2} = 1,81 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{5}{2,2} = 2,27 \approx 2$$

Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 2 = 4$$

Расстояния от крайних светильников до стены и расстояния между соседними светильниками с учётом длины помещения определяются по формулам:

$$A = N_b \cdot S + L_1 + \frac{2}{3} L_1$$

$$5000 = 2 \cdot 1227 + L_1 + \frac{2}{3} L_1$$

$$L_1 = 1527,6 \text{ мм} = 1,5 \text{ м}$$

$$l_1 = \frac{L_1}{3} = \frac{1527,6}{3} = 509,2 \text{ мм} = 0,509 \text{ м}$$

Расчёт расстояния от крайних светильников до стены с учётом ширины помещения:

$$B = N_b \cdot D + L_2 + \frac{2}{3}L_2$$

$$4000 = 2 \cdot 265 + L_2 + \frac{2}{3}L_2$$

$$L_2 = 2082 \text{ мм} = 2,08 \text{ м}$$

$$l_2 = \frac{L_2}{3} = \frac{2,08}{3} = 0,69 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 20 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

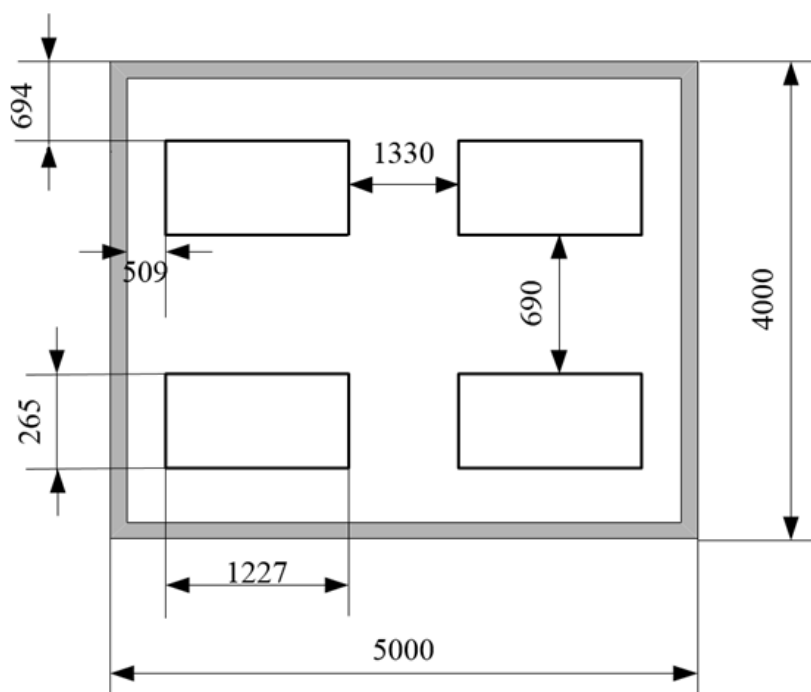


Рисунок 20 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{5 \cdot 4}{2 \cdot (5 + 4)} = 1,11$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для

светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_n = 70 \%$ ,  $\rho_c = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,1$  равен  $\eta = 0,43$ . Количество ламп в 4 светильниках – 8.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 20 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,43} = 2877 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$
$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2877}{2600} \cdot 100\% = 10\%$$

Таким образом,  $-10\% \leq -10\% \leq 20\%$ , следовательно, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Электрическая мощность всей осветительной системы:

$$P = N_{\text{л}} \cdot p_{\text{л}} = 8 \cdot 40 = 320 \text{ Вт}$$

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека.

Термические опасности в испытательной пожарной лаборатории обусловлены наличием оборудования с повышенной и пониженной температурой поверхности. Аппарат с повышенной температурой поверхности, например, термоанализатор, защищен специальным заградительным корпусом.

Согласно ГОСТ Р 51337-99 Температуры касаемых поверхностей [11]. При работе с оборудованием с повышенной и пониженной температурой поверхности исключается их непосредственный контакт с кожными покровами, используются специальные ухваты и защитные перчатки из жароустойчивого материала. Так же необходимо соблюдать правила техники безопасности и использовать средства индивидуальной защиты ПНД Ф 12.13.1-03

Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются:  $I < 0,1$  А;  $U < (2-36)$  В;  $R_{\text{зазем}} < 4$  Ом согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ[12]. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

На рабочем месте лаборанта находятся системный блок, клавиатура и монитор. При включении монитора на электронно-лучевой трубке формируется большое напряжение в несколько киловольт. Поэтому запрещается работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками, прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии. Перед началом работы необходимо убедиться в отсутствии висящих под столом или свешивающихся со стола проводов электропитания, в целостности провода электропитания и вилки.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 [13]. рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключаящее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;



- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;
- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности; – проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием; – обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами.

### 13.5 Экологическая безопасность

#### **Воздействие на литосферу**

Одним из минусов люминесцентных ламп является применение небольшого количества ртути, и отказаться от ее использования не представляется возможным, так как на этом металле основан принцип работы. Лампы относятся к 1 классу опасности – чрезвычайно опасным отходам ГОСТ Р 53692-2009[14].

Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами.

Лампы необходимо передать специализированной организации, которая занимается утилизацией ламп. СанПиН 2.1.3684-21[15]. строго регламентирует порядок утилизации люминесцентных ламп:

- Отходы собираются, складываются и хранятся в контейнере для утилизации люминесцентных ламп до момента переработки.
- Светильник дробится прессом.
- Сырье отправляется в камеру с высокой температурой.
- Выделяемый газ попадает в вакуумную ловушку, где конденсируется и фильтруется.

Из переработанных отходов получают небольшое количество ртути, которое используется вторично для изготовления аналогичных ламп.

### **Воздействие на гидросферу**

Попадание масла в водоемы приведет к загрязнению гидросферы и гибели водной фауны. Масла, а также их отходы регламентируются Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 30.11.2021) "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации". Данное постановление точно нормирует ПДК нефтепродуктов в стоках:

- Предельно допустимая концентрация в сточных водах прочих видов нефти – 0,3 мг/л.

При авариях, ремонте аппаратов, оборудования и трубопроводов категорически запрещается сброс в канализацию нефтяных и химических продуктов, не являющихся сточными водами.

### **Воздействие на атмосферу**

Основной вред окружающей среде причиняется при горении минеральных моторных масел, так как при этих процессах в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ. Это продукты сжигания – угарный, углекислый газ, диоксид серы и азота. Но также органические вещества такие как бенз(а)пирен, который относится к 1-му классу опасности и является канцерогеном.

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» на выбросы наложены ограничения. Для минеральных моторных масел это оксид углерода (IV, II), диоксид азота, серы, бенз(а)пирен.

Согласно ГОСТ Р 56828.42-2018 «Наилучшие доступные технологии. Утилизация отработанных масел» и ИТС 15-2016 «Утилизация и обезвреживание отходов» – утилизация отходов нефтепродуктов, в том числе отработанных масел, может осуществляться на предприятиях нефтепереработки в качестве вторичного сырья, которое поступает в начало процесса переработки нефти. Отработанные масла могут после их предварительной обработки использоваться в качестве базового масла в масляном производстве. При раздельном сборе масел возможно восстановление их первоначальных свойств и повторное использование, что позволяет продлить срок службы масла.

### 13.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для лаборатории наиболее вероятная ЧС это техногенная авария в виде пожара. Возникновение пожара считается производственной аварией, так как он наносит значительный материальный ущерб и может вызвать остановку технологического процесса. Любой пожар легче всего ликвидировать в начальной стадии, приняв меры к локализации очага, чтобы не допустить образования площади горения. Успех быстрой локализации очага пожара в начальной стадии зависит:

- от наличия огнетушительных средств и умения применять их;
- от наличия пожарной связи и сигнализации для оповещения о возникновении пожара и вызова пожарной помощи.

При загорании электрических аппаратов или веществ около проводов находящихся под током во время тушения пожаров всегда имеется опасность поражения током. Поэтому в здании или его части, где производится тушение пожара, электрическая сеть должна быть отключена.

#### Организационные мероприятия:

- планирование защиты населения и территорий от ЧС на уровне предприятия;
- подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС;
- создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;
- наличие и поддержание в постоянной готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о ЧС.

#### Выводы по разделу

В результате выполнения раздела диссертационной работы «Социальная ответственность» выявлено, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

С точки зрения «Правила устройства электроустановок (ПУЭ)» помещение для исследования относится к категории: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

В представленной работе выбраны:

- Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Іб (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением).
- Помещение лаборатории относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

## Заключение

Биомасса в виде ВУТ является наиболее перспективным ресурсом для использования в качестве топлива для водяного котла, добавление ВУТ в топку котла интенсифицирует процессы зажигания и горения капель суспензионного топлива. Результатом проведенных экспериментов являются рекомендуемые размеры муфельного предтопка, значения рабочей температуры и размеры частиц твердого композиционного топлива, подаваемые в муфельный предтопок.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система управления процесса горения твердого композиционного топлива при безмазутной растопке котла.

В ходе данной магистерской работы была разработана АСУ ТП безмазутной растопки. Была составлена проектная документация в виде:

- структурная схема;
- функциональные схемы;
- электрической схемы;
- монтажной схемы; – щит управления;
- заказная спецификация.

Также был произведен выбор оборудования и составлена заказная спецификация на средства автоматизации. Для удобства пользования данной системой оператором была разработана мнемосхема в ПО MasterSCADA. По результатам проделанной работы можно сделать вывод о том, что разработанная система полностью отвечает заявленным требованиям, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

## Список использованных источников

1. Вальцев Н.В., Рыжков А.Ф. Возможность применения углей ультратонкого помола для растопки пылеугольных котлов // Теплофизические основы энергетических технологий, 2011. – С. 195-198.
2. Кормилицын В. И., Лысков М. Г., Румынский А. А. Комплексная экосовместимая технология сжигания водомазутной эмульсии и природного газа с добавкой сбросных вод // Теплоэнергетика, 1996. – № 9. – С. 13-17.
3. Maltsev LI, Kravchenko IV, Lazarev SI, Lapin DA. Combustion of black coal in the form of coal-water slurry in low-capacity boilers. Therm Eng (English translation of Teploenergetika) 2014;61(7):486–90. <https://doi.org/10.1134/S0040601514070064>.
4. Glushkov D, Kuznetsov G, Paushkina K. Switching coal-fired thermal power plant to composite fuel for recovering industrial and municipal waste: Combustion characteristics, emissions, and economic effect. Energies 2020;13(1):259. <https://doi.org/10.3390/en13010259>.
5. Khodakov GS. Coal-water suspensions in power engineering. Therm Eng 2007;54 (1):36–47. <https://doi.org/10.1134/S0040601507010077>.
6. Strizhak PA, Vershinina KY. Maximum combustion temperature for coal-water slurry containing petrochemicals. Energy 2017;120:34–46. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.105>
7. [1] S. Candel, D. Durox, T. Schuller, J.-F. Bourgouin, J.P. Moeck, Dynamics of swirling flames, Annu. Rev. Fluid Mech. 46 (1) (2014) 147–173. [2] L.Y.M. Gicquel, G. Staffelbach, T. Poinsot, Large Eddy Simulations of gaseous flames in gas turbine combustion chambers, Prog. Energy Combust. Sci. 38 (6) (2012) 782–817.
8. [1] P.G. Hill, D. Zhang, The effects of swirl and tumble on combustion in sparkignition engines, Prog. Energy Combust. Sci. 20 (5) (1994) 373–429.
9. [1] N. Syred, A review of oscillation mechanisms and the role of the precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems, Prog. Energy Combust. Sci. 32 (2) (2006) 93–161.

10. ] W. Shyy, M.E. Braaten, D.L. Burrus, Study of three-dimensional gas-turbine combustor flows, *Int. J. Heat Mass Transf.* 32 (6) (1989) 1155–1164.
11. ] W.B. Ng, K.J. Syed, Y. Zhang, The study of flame dynamics and structures in an industrial-scale gas turbine combustor using digital data processing and computer vision techniques, *Exp. Thermal Fluid Sci.* 29 (6) (2005) 715–723
12. ] P. Schmitt, T. Poinsot, B. Schuermans, K.P. Geigle, Large-eddy simulation and experimental study of heat transfer, nitric oxide emissions and combustion instability in a swirled turbulent high-pressure burner, *J. Fluid Mech.* 570 (2007) 17–46.
13. Глушков, Д.О. Органоводугольное топливо: проблемы и достижения (обзор) / Д.О. Глушков, П.А. Стрижак, М.Ю. Чернецкий // *Теплоэнергетика.* – 2016. – № 10. – С. 31–41.
14. Глушков, Д.О. Зажигание органоводугольных топливных композиций / Д.О. Глушков, Г.В. Кузнецов, П.А. Стрижак. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2017. – 460 с.
15. Nyashina GS, Kurgankina MA, Strizhak PA. Environmental, economic and energetic benefits of using coal and oil processing waste instead of coal to produce the same amount of energy. *Energy Convers Manag* 2018;174:175–87. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.048>.
16. Nyashina GS, Legros JC, Strizhak PA. Environmental potential of using coal-processing waste as the primary and secondary fuel for energy providers. *Energies* 2017;10:405. <https://doi.org/10.3390/en10030405>.
17. Vershinina KY, Shlegel NE, Strizhak PA. Impact of environmentally attractive additives on the ignition delay times of slurry fuels: Experimental study. *Fuel* 2019;238:275–88. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.132>.
18. Glushkov DO, Lyrshchikov SY, Shevyrev SA, Strizhak PA. Burning properties of slurry based on coal and oil processing waste. *Energy and Fuels* 2016;30:3441–50. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02881>.
19. Prabhakaran A, Jagga CR. Condition monitoring of steam turbine-generator through contamination analysis of used lubricating oil. *Tribol Int*

1999;32:145–52. [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(99)00028-6).

20. Glushkov DO, Paushkina KK, Shabardin DP, Strizhak PA, Gutareva NY. Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation. *J Environ Manage* 2019;231:896–904. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.067>.

21. Glushkov DO, Shabardin DP, Strizhak PA, Vershinina KY. Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition. *Fuel Process Technol* 2016;143:60–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.11.014>.

22. H. Wang, S. Liu, X. Wang, Y. Shi, X. Qin, C. Song, Ignition and combustion behaviors of coal slime in air, *Energy Fuel* 31 (10) (2017) 11439–11447, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b01960>.

23. K. Vershinina, P. Strizhak, V. Dorokhov, D. Romanov, Combustion and emission behavior of different waste fuel blends in a laboratory furnace, *Fuel* 285 (2021) 119098, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119098>.

24. D.O. Glushkov, P.A. Strizhak, K.Yu Vershinina, Minimum temperatures for sustainable ignition of coal water slurry containing petrochemicals, *Appl. Therm. Eng.* 96 (2016) 534–546, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.125>.

25. T.R. Valiullin, K.Yu. Vershinina, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, An experimental investigation into ignition and combustion of groups of slurry fuel droplets containing high concentrations of water, *Fuel Process. Technol.* 210 (2020) 106533,

26. G.S. Khodakov, Coal-water suspensions in power engineering, *Therm. Eng.* 54 (2007) 36–47, <https://doi.org/10.1134/S0040601507010077>.

27. K.V. Osintsev, Studying flame combustion of coal–water slurries in the furnaces of power generating boilers, *Therm. Eng.* 59 (6) (2012) 439–445, <https://doi.org/10.1134/S0040601512060079>.

28. L.I. Maltsev, I.V. Kravchenko, S.I. Lazarev, D.A. Lapin, Combustion of black coal in the form of coal–water slurry in low capacity boilers, *Therm. Eng.* 61 (7) (2014) 486–490, <https://doi.org/10.1134/S0040601514070064>.



29. K.Y. Vershinina, N.E. Shlegel, P.A. Strizhak, Recovery of waste-derived and lowgrade components within fuel slurries, *Energy* 183 (2019) 1266–1277, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.031>.
30. A. Valera-Medina, H. Xiao, M. Owen-Jones, W.I.F. David, P.J. Bowen, *Prog. Energy Combust. Sci.* 69 (2018) 63–102.
31. H. Kobayashi, A. Hayakawa, K.D.K.A. Somarathne, E.C. Okafor, *Proc. Combust. Inst.* 37 (2018) 109–133.
32. R.C. Rocha, M. Costa, X.S. Bai, *Fuel* 246 (2019) 24–33.
33. A. Valera-Medina, R. Marsh, J. Runyon, D. Pugh, P. Beasley, T. Hughes, P. Bowen, *Appl. Energy* 185 (2017) 1362–1371.
34. A. Valera-Medina, D.G. Pugh, P. Marsh, G. Bulat, P. Bowen, *Int. J. Hydrogen Energy* 42 (2017) 24495–24503.
35. Завод котельного оборудования “Гарант”. [Электронный ресурс] // Каталог продукции.: сайт. – Режим доступа: <https://nprogarant.ru/e>, свободный. – Загл. с экрана.
36. Регулирование разрежения в топке. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ozlib.com/846252/tehnika/regulirovanie\\_razrezheniya\\_top](https://ozlib.com/846252/tehnika/regulirovanie_razrezheniya_top) ke, свободный. – Загл. с экрана.
37. А. С. Ключев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский Проектирования систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. – Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
38. А.В. Волошенко, В.В. Медведев Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2005. – 120 с.
39. ТермоКИПконтрол компоненты системы автоматизации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://termokip.com.ua/regulirovanierazryazheniya/>, свободный. – Загл. с экрана.
40. Датчик давления Метран-150. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \ <http://теплоприбор.рф/>, свободный. – Загл. с экрана.

41. Датчик давления МИДА-ДИ-13П-М. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \ <http://теплоприбор.рф/>, свободный. – Загл. с экрана.

42. Преобразователь давления измерительный АДР-0,125.5. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.рф/>, свободный. – Загл. с экрана.

43. Преобразователь давления измерительный ОВЕН ПД150. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.рф/>, свободный. – Загл. с экрана.

44. Термопреобразователь сопротивления ТСМУ – 205. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.рф/catalog/tsmu-205-tsru-205-thau-205/>, свободный. – Загл. с экрана.

45. Программируемый логический контроллер Элси-ТС 711 А8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/plc/tc/tc-711/ti.aspx>, свободный. – Загл. с экрана. 27. Исполнительный механизм МЭО-100/25-0,25-91. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://запорнаяарматура.москва/catalog/meo/?yclid=1731178363185297396>, свободный. – Загл. с экрана.

46. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

47. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

48. КонсультантПлюс. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России N1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на

работу и периодические медицинские осмотры». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

49. Пожарная безопасность. Инструкция по охране труда для инженера АСУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://firedeclaration.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

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

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

52. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.

53. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.

54. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.

55. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.

56. ТЕХЭСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278>, свободный. – Загл. с экрана.

57. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 31192.2-2005. Измерение локальной вибрации и влияние ее на человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200060914>, свободный. – Загл. с экрана.

58. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

59. ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001338>, свободный. – Загл. с экрана.

60. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

61. Опасные и вредные производственные факторы и их классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lab-ecostar.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

62. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.

## Приложение А

### Combustion characteristics of coal-water slurry droplets in high-temperature air with the addition of syngas

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Опрышко Михаил Александрович		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Глушков Д.О.	д.т.н доцент		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Гончарова Л.А.	к.п.н.		

## **1. Introduction**

Currently, in the world energy sector, the share of energy generated using coal exceeds 27%, which is an intermediate value between the shares of energy generation using oil (32%) and natural gas (22%) [1]. There is an increase in coal production annually [1]. In 2021, coal production amounted more than 7.5 billion tons. As a rule, power plants are significant coal consumers, that estimates about 5.2 billion tons per year (68.9%) of mined coal, while 1.43 billion tons of coal per year (18.9%) is used as fuel in small power generation facilities, 0.9 billion tons coal (11.9%) is used in coking and only 70 million tons (0.3%) is subjected to other types of thermochemical processing, mainly pyrolysis and gasification [1]. All this is explained by the fact that the existing outdated technologies are resource-intensive, which, as a result, leads to a significantly high level of energy consumption, as well as to environmental pollution [2]. There is a need for the efficient use of fossil fuels by improving energy generation technologies due to the negative forecast for the depletion of energy resources [2].

One of the ways to jointly solve energy and environmental problems is the coal conversion, including low-grade coal and coal processing waste. The main methods of thermal conversion for energy production are usually burning, gasification and pyrolysis [3–5]. Direct combustion is now considered an obsolete energy conversion technology in contrast to pyrolysis and gasification [1,6]. At the same time, there are alternative options for coal combustion, one of which is the replacement of fossil solid fuels with coal-water slurry fuels. Such fuels are a suspension containing finely dispersed (tens and hundreds of microns) solid particles and liquid components, the concentration of which can vary in the range of 30–60%. Solid fuel components are coals of various grades, coal sludge and coal preparation waste [7–11]. Composite fuels can include various types of biomass (straw, wood, sewage sludge) [12–14]; municipal solid waste (cardboard, paper) [15] and various liquid additives, for example, used technical and household oils [11,16]. The results of a study [17] on the co-incineration of various types of biomass and municipal solid waste made it is possible to establish that direct waste incineration is a less efficient way of energy processing [17] in

contrast to pyrolysis, gasification, anaerobic digestion, biofuel production and other promising technological solutions.

Different groups of researchers [7, 15, 16], found that the practical use of composite fuels instead of coal can significantly reduce the level of anthropogenic emissions generated in the energy sector. The combustion of water-containing fuels based on coal and coal preparation waste is characterized by a significantly lower level of anthropogenic emissions to the atmosphere compared to dry pulverized coal [17–19] due to the combustion process in a semi-reducing medium. Such slurry fuels have comparable, and sometimes even better energy characteristics, compared to fuels widely used in practice [11, 17, 20].

Unlike direct combustion, gasification aims to convert fuel to syngas at high temperatures in an aerobic environment using gasifying agents such as  $O_2$ ,  $H_2O$  and  $CO_2$  [24–26]. Results of the study [27] confirmed that coal gasification contributes to the clean energy production, reducing emissions of greenhouse gases, sulfur oxides and nitrogen [27].

Various gasification technologies make it possible to convert mixtures of natural hydrocarbons into combustible syngas, the composition of which depends on the initial fuel type, as well as on the mode of heat supply and the composition of the gaseous medium in which the process takes place. To solve this problem, research is being carried out around the world aimed at determining the factors that affect the composition and quality of syngas. Biomass is currently the most widely used fuel for gasification [28]. It has also been proven [28], that the use of a vapor-air mixture as a gasification agent makes it possible to obtain syngas with a higher calorific value.

The authors of [26] determined the dependence of the composition and heat of synthesized gas combustion on the type of biomass used. The syngas combustion heat obtained by biomass pyrolysis with a high content of cellulose and hemicellulose turned out to be lower than during the pyrolysis of biomass rich in lignin. This is due to the fact that the main decomposition product of cellulose and hemicellulose is  $CO_2$ , while lignin decomposes into  $H_2$  and  $CH_4$  when heated.

In addition to biomass, low-grade coal and coal preparation waste are used as gasified fuels. The study [30] presents the results of gasification of pre-carbonized coking coals ( $V^{\text{daf}} = 19.27\%$ ,  $C^{\text{daf}} = 77.27\%$ ), gas rich coals ( $V^{\text{daf}} = 19.76\%$ ,  $C^{\text{daf}} = 80.04\%$ ), as well as sludge coking coal ( $V^{\text{daf}} = 30.61\%$ ,  $C^{\text{daf}} = 83.80\%$ ) using the oxygen-free steam gasification technology of carbon-containing materials at a temperature of 1500 °C. The advantage of this gasification technology is a high degree of carbon-containing materials conversion into syngas [30]. It was established [30] that the conversion rate increases with temperature. This result confirms the thermal activation of chemical processes, which leads to a decrease in the concentration of CO<sub>2</sub> and hydrocarbons over time, which confirms the predominance of the process of carbon conversion into the resulting syngas. At the same time, the proportion of the main reaction products (CO and H<sub>2</sub>) increases.

Along with research on the syngas production from various raw materials under different process conditions, research is being carried out to determine the operation parameters of engines and power plants using pyrolysis and gasification products as fuel. The authors of [31] implemented several programs based on which the intracycle gasification technology was applied, which helps to save fuel by 18%, as well as reduce emissions of harmful substances into the atmosphere and involve new raw materials types in the fuel and energy sector. The combined efficiency of such technologies exceeds by 1.5 times the technologies are currently widely used in practice [32].

The prospects for the joint use of pulverized coal and syngas are justified [30] by the possibility of lowering the temperature in the boiler furnace, as well as significantly reducing the concentration of sulfur and nitrogen oxides emitted into the atmosphere with flue gases. To obtain the optimal boiler operation, it is necessary to adjust all the operating parameters of the system to prevent loss of closed-loop efficiency. When using optimal boiler settings, its efficiency can exceed 85%.

The authors of [34] showed that the solid fuels combustion in an oxygen medium with flue gas recirculation is an effective way to capture CO<sub>2</sub>. The use of circulating fluidized bed technology makes it is possible to reduce the cost of capturing CO<sub>2</sub> during oxy-fuel combustion and decrease emissions of nitrogen oxides with flue gases



compared to flaring. The study [34] was carried out for the purpose of a comparative analysis of the effect of flue gas recirculation and other regime factors during combustion in air, oxygen and CO<sub>2</sub> on the formation of NO and N<sub>2</sub>O. It has been shown [34], that, due to recirculation, the fractions of NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O formed from fuel nitrogen are significantly lower during oxygen combustion than during fuel combustion in air.

Based on the analysis performed, it can be concluded that the use of composite fuels is a promising solution to energy and environmental problems, as well as the problem of non-renewable energy resources depletion. At the same time, it should be considered that one of the main problems in the practical application of suspension fuels is the relatively long ignition delay times, which leads to mechanical and chemical fuel underburning with the overall dimensions of the furnace, typical for coal-fired boilers. A potential solution to this problem is the combustion process organization in a high-temperature oxidizing medium with the addition of biomass gasification products or waste-derived fuels. Therefore, it is reasonable to compare the characteristics of CWS combustion processes in a high-temperature oxidizer environment without the addition of gasification products and with syngas generated during biomass pyrolysis and waste-derived fuels.

This work is focused on an experimental study of the possibility of using composite liquid fuels based on waste coal preparation together with syngas obtained in the process of pyrolysis and gasification. Coal enrichment wastes have a fairly high carbon content with an average dry weight ash content of 20–40%. However, at present they are of little demand due to the insufficient technology development level for their disposal. The results of studies [17, 20] showed that the use of slurry fuels can be successful when they are co-burned with additional components. The purpose of this work is to experimentally study the CWS droplets ignition and combustion characteristics in a high-temperature oxidizer medium with syngas pre-generated in a laboratory gasifier. The scientific novelty of the work lies in a comprehensive analysis of the main characteristics of the CWS droplets ignition and combustion processes when an oxidizer is fed into the combustion chamber with the addition of various compositions syngas obtained during the biomass and waste-derived fuels pyrolysis

and gasification. The results of this study will be a contribution to solving the problem of coal sludge utilization and optimization of the slurry fuels combustion process. The established characteristics will also be of practical importance, as they are the basis for the design of fuel preparation and supply systems, as well as the boiler furnaces designs.

## **2. Materials and methods**

As the main CWS component, coal sludge from coking coal was used, which is a waste from coal preparation. Coal sludge consists of coal and mineral particles of different fineness (up to 100  $\mu\text{m}$ ). At the processing plant, coal sludge is a waste product whose moisture content can vary over a wide range. To control the proportion of the fuel mixture components, the coal sludge was pre-dried until complete moisture evaporation in a drying box at a temperature of 105 °C for 3 hours. Next, dry sludge agglomerates were ground in a Pulverisette 14 high-speed rotary mill (FRITSCH, Germany). To obtain a powder with a particle size of not more than 100  $\mu\text{m}$ , crushed coal sludge was sieved using an ANALYSETTE 3 SPARTAN vibrating screen (FRITSCH, Germany). Tap water was used as the liquid component of the CWS. The components (solid bulk and liquid) were mixed with an AIBOTE ZNCLBS-2500 magnetic stirrer (Aibote, China) at a magnetic armature rotation speed of 1500 rpm. The mixing time of a two-component suspension weighing 100 g was 10 min, the mass fractions ratio of solid and liquid components was 1:1.

Biomass and waste-derived fuels were used as energy resources for syngas generation:

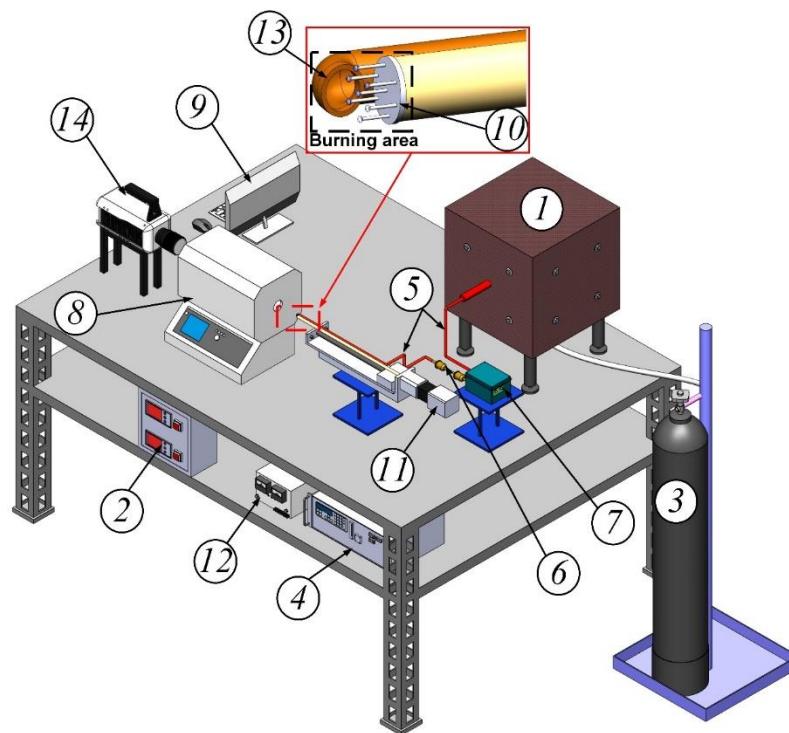
- (1) 100 wt.% sawdust;
- (2) 70 wt.% lignite + 30 wt.% used turbine oil;
- (3) 40 wt.% sawdust + 40 wt.% lignite + 20 wt.% used turbine oil.

The results of elemental and technical analysis of solid fuel components are presented in Table 1.

**Table 1.** Results of elemental and technical analysis of fuel mixtures solid components

Component	$W^a$ , %	$A^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$Q$ , MJ/kg	$C^{daf}$ , %	$H^{daf}$ , %	$N^{daf}$ , %	$S_t^d$ , %	$O^{daf}$ , %
Coal sludge	–	6.46	23.08	24.83	836	5.09	2.05	1.04	4.46
Lignite	14.11	4.12	47.63	22.91	73.25	6.53	0.79	0.44	18.99
Sawdust	6.05	1.5	72.35	18.25	49.72	5.91	0.19	0.64	43.54

An experimental setup was designed to determine the ignition and combustion characteristics of CWS droplets with synthesis gases obtained in the process of biomass and waste-derived fuels pyrolysis to the oxidizer medium. Fig. 1 shows the 3D model of experimental setup.



**Fig. 1.** 3D model of the experimental setup: 1 – gasifier to produce syngas; 2 – gasifier control unit; 3 – compressed nitrogen bottle; 4 – gas analyzer; 5 – pipeline for supplying syngas from the gasifier to the muffle furnace; 6 – syngas filtration and drying system; 7 – diaphragm pump; 8 – tubular muffle furnace; 9 – PC; 10 – CSW droplets holder; 11 – device for linear movement; 12 – control unit of device for

linear movement; *13* – syngas supply pipe to the muffle furnace; *14* – high-speed video camera

Waste-derived fuels and biomass were gasified in the original gasifier (*1*). The chamber volume is 3.5 l, the electric heater power is 4 kW. Prior to heating, the gasifier was purged with compressed nitrogen (*3*) to create an inert medium. Waste-derived fuels or biomass were introduced into a gasifier (*1*) preheated to 600 °C on a metal plate. The temperature inside it was automatically regulated (*2*) according to the built-in K-type thermocouple readings (temperature range 0–1100 °C, accuracy ±3 °C, inertia no more than 3 s). Fuel time spent in the heated gasifier was determined by the readings of a precision gas analyzer (*4*) in real time, characterizing the total yield of biomass or waste-derived fuels volatile components. In the syngas supply path to the muffle furnace (*5*), there was a filter (*6*) complete with a device for collecting condensate, designed to purify and dry the resulting syngas. A diaphragm pump (*7*) with a capacity of 3 l/min was used to supply syngas from the gasifier (*1*) to the muffle furnace (*8*).

During preliminary experiments, the generated syngas composition was analyzed. Sampling was carried out at the gasifier outlet (*1*). To register the component composition of the gas obtained during pyrolysis, a laboratory gas analyzer (*4*) Test-1 (Boner-VT, Russia) was used. This gas analyzer is equipped with electrochemical sensors O<sub>2</sub> (range 0–25%, absolute error ±0.2%), CO (range 0–40000 ppm, relative error ±5%), SO<sub>2</sub> (range 0–1000 ppm, relative error ±5%), NO (range 0–2000 ppm, relative error ±5%), NO<sub>2</sub> (range 0–500 ppm, relative error ±7%), H<sub>2</sub>S (range 0–500 ppm, relative error ±5%), HCl (range 0–2000 ppm, relative error ±5%). Additionally, the gas analyzer is equipped with optical sensors CO<sub>2</sub> (range 0–30%, reduced error ±2%), CH<sub>4</sub> (range 0–30%, reduced error ±5%), CO (range 0–30%, reduced error ±5%) and polarographic sensor H<sub>2</sub> (range 0–5%, absolute error ±5%). The gas analyzer includes a modular probe, a condensate collector and a filtration system, the design of which is similar to the design of the path for supplying the resulting syngas from the gasifier (*1*) to the muffle furnace. The gas analyzer was connected to a PC (*9*) with

software, which allows real-time monitoring of changes in the resulting syngas components concentrations.

Suspension fuel droplets were burned in a tubular muffle furnace (8) Nabertherm R 50/250/13 (Nabertherm GmbH, Germany) preheated to a given temperature and used as a model combustion chamber. A droplets group was placed on a holder (10). The total fuel mass was about 0.2 g, each droplet diameter was about 2 mm (Fig. 1). The initial droplet masses were controlled using ViBRA HT 84RCE balance (accuracy class I, resolution  $10^{-4}$  g the smallest weighing limit 0.01 g) (Vibra, Japan). The holder with fuel droplets was introduced into the combustion chamber by a linear movement device (11). The syngas was supplied to the area (Fig. 1), where the CWS droplets were located using a ceramic tube (13). The syngas flow rate supplied by the diaphragm pump (7) was 3 l/min. Thus, the conditions of the laboratory experiment corresponded to the conditions of the CWS flaring process in the combustion chamber with partial replacement of air with syngas.

To record the processes of CWS droplets ignition and combustion in a muffle furnace, a high-speed video camera (14) Phantom V411 (Vision Research, USA) was used: video recording speed is 2000 fps at a resolution of  $800 \times 600$  pixels; color depth 12 bit; pixel size 20  $\mu\text{m}$ ; minimum exposure time 1  $\mu\text{s}$ ; automatic image trigger. The AF 105 mm lens (Sigma, Japan) was used with the video camera: minimum focusing distance 0.312 m, viewing angle 23.30 deg. min. Standard video camera software (Phantom Camera Control) and original software developed in Mathematica were used to analyze video recordings.

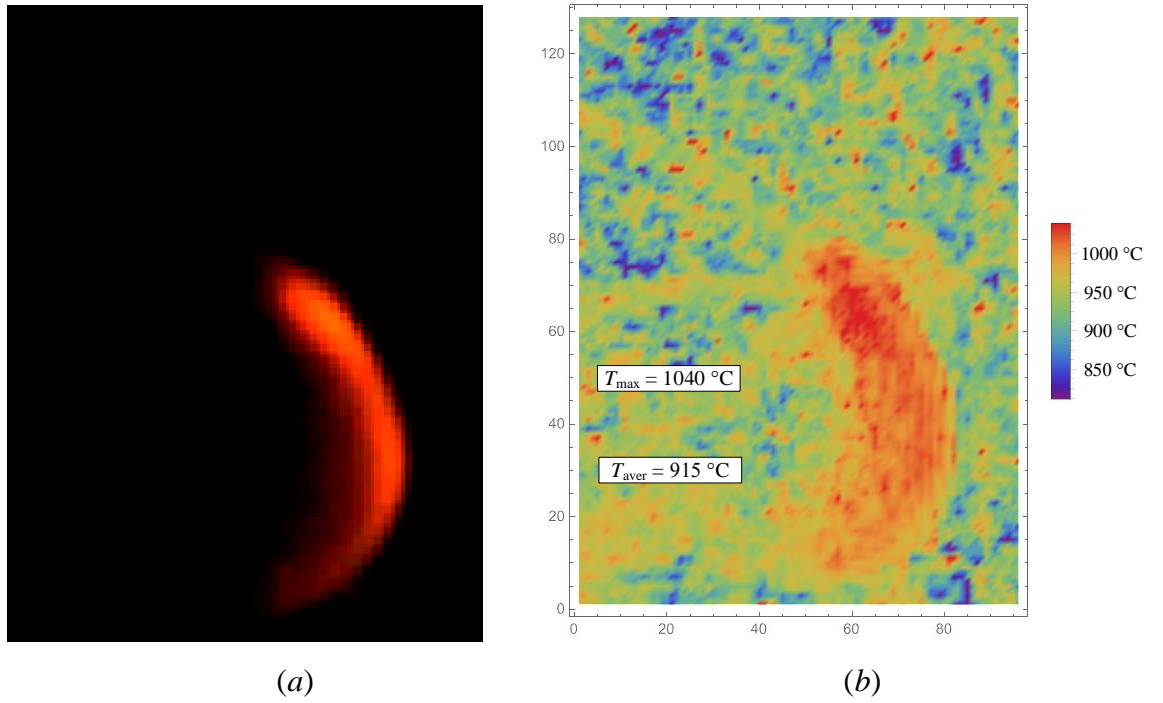
The main recorded characteristics of CWS droplets combustion process were the following: gas-phase ( $t_{d1}$ ) and heterogeneous ( $t_{d2}$ ) ignition delay times, burning duration ( $t_b$ ), burning temperature ( $T_b$ ) and concentrations of anthropogenic emissions. In addition, the analysis of the ash component composition obtained after the CWS droplets burning was carried out according to the ASTM D3682-13 method.

In this work, the gas-phase ignition delay time is the time from the beginning of the fuel droplet heating to the gas mixture ignition in the fuel droplet vicinity. The heterogeneous ignition delay time is the time from the start of CWS droplet heating to

the moment of the coke residue ignition. Burning duration is the time from the moment of the CWS droplet gas-phase ignition to the completion of the carbonaceous residue heterogeneous combustion.

To determine the flame temperature during the combustion of suspension fuels, the method of two-color pyrometry was used. The fuel combustion process was recorded using a pre-calibrated high-speed video camera complete with a lens (14). Calibration consisted in establishing the correlation between the intensity of the detected radiation at different wavelengths with the characteristics of the video camera matrix RGB channels.

In the video recording area, a fragment was selected (Fig. 2) corresponding to the flame in the vicinity of the CWS droplet. Further, within the framework of the developed algorithm in the Wolfram Mathematica (Wolfram Research, USA), the color image of the video recording was averaged with a given step to suppress optical noise. According to the ratio of the intensities of the green and red color channels in each pixel of the considered image fragment, the temperature was calculated according to the original algorithm using the Planck formula [35]. The set of temperature values in each pixel of the video recording area represented the temperature field. The systematic error of non-contact temperature measurement (characterized by the ratio of the intensities of the green and red color channels) did not exceed 25% of the recorded value.



**Fig. 2.** Video frames of a fuel droplet burning (*a*) and a temperature field based on it (*b*)

All recorded characteristics had systematic errors. Their values corresponded to the metrological characteristics of the registration means used. To estimate random errors, series of 5–10 experiments were carried out under identical initial conditions. The contribution of uncontrolled factors to the resulting values of the characteristics being determined was evaluated by calculating confidence intervals. To process the results, including the identification and elimination of gross errors, standard approaches [36,37], were used, including the calculation of the mathematical expectation (1), the variance of a random variable (2), and the standard deviation (3) for each series of experiments, followed by the calculation of the confidence interval (4).

$$M_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i ; \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - M_X)^2 ; \quad (2)$$

$$\sigma = V^{1/2} ; \quad (3)$$

$$\Delta = t_{\alpha n} \cdot \sigma, \quad (4)$$

where  $M_X$  – mathematical expectation;  $X_i$  – measurement result;  $n$  – number of measurements;  $V$  – random variable variance;  $\sigma$  – standard deviation;  $\Delta$  – confidence interval;  $t_{\alpha n}$  – Student's t-distribution.

When choosing  $t_{\alpha n}$ , the confidence level was set to 0.95. Further, for all the results obtained in the Figs., the values of confidence intervals will be presented, which illustrate the range of possible values of the measured characteristic with a probability of 95%.



## Conclusions

- (i) Biomass in the form of sawdust is the most promising resource for syngas generation. Its addition to the boiler furnace intensifies the ignition and combustion processes of suspension fuel droplets. During the sawdust pyrolysis, syngas is obtained with the highest volume fraction of combustible components, especially hydrogen. Their total volume fraction is 3.46%, which is 1.01–4.17 times higher than other pyrolyzed fuels based on low-grade coals and combustible liquids. During the lignite pyrolysis with and without used turbine oil, the main component of the syngas is methane, its concentration is 1.80–2.86%.
- (ii) When CWS droplets are burned, the addition of syngas to the combustion chamber reduces (compared to fuel combustion conditions without syngas addition) the delay times of gas-phase ignition by 1.2–1.5 times, the delay times of heterogeneous ignition by 1.3–2.0 times, and the duration of the combustion process by 1.3–1.8 times.
- (iii) The addition of syngas to the combustion chamber leads to an increase in the flame temperature during the CWS droplets combustion by 3–8% (975–1025 °C vs 950 °C under otherwise identical conditions).
- (iv) CWS droplets combustion in an oxidant medium enriched with syngas affects the elemental composition of the ash residue. The difference lies in the  $\text{SO}_3/(\text{CaO}+\text{MgO})$  ratio, for which a linear dependence on the  $\text{SO}_2$  content in the composition of flue gases has been established. When CWS droplets are burned without syngas, this ratio is 0.29, and when syngas is added, it is 0.32, which indicates a decrease in the  $\text{SO}_2$  concentration in the flue gases composition in the latter case.
- (v) The totality of the results obtained is the basis for the development of CWS flaring technology in an oxidizer medium with syngas. The practical implementation of this technology will increase the CWS combustion efficiency and expand the range of resources for power generation.