

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) НОЦ И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
АСУ ТП подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания

УДК: 658.512.4.011.56:662.758:621.45.04

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Сидоров Денис Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ИШФВП	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, ООД	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

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

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	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
ПК(У)-2	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
ПК(У)-3	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
ПК(У)-4	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
ПК(У)-5	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
ПК(У)-6	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

ПК(У)-7	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
ПК(У)-8	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) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ П.А. Стрижак
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ03	Сидорову Денису Сергеевичу

Тема работы:

АСУ ТП подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2022 №34-66/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Публикации с достижениями в области создания и использования гелеобразного топлива. 2. Экспериментальные стенды и разработанные в ТПУ методики проведения исследований. 3. Теплотехнические свойства и химический состав типичных гелеобразных топлив. 4. Требования к системе управления подачи топлива в камеру сгорания: <ul style="list-style-type: none"> – три уровня автоматизации; – применение, в качестве основного технического средства управления современного, программируемого контроллера; – обеспечение времени регулирования не более 15 секунд.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Экспериментальные исследования. 2. Системный анализ объекта автоматизации. 3. Проектирование АСУ ТП подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания. 4. Взаимосвязь оборудования верхнего, среднего и полевого уровней в виде схемы. 5. Разработка шкафа управления АСУ ТП подачи гелеобразного топлива в камеру сгорания. 6. Расчет параметров настройки регулятора. 7. Мнемосхема SCADA-системы АСУ ТП. 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 9. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Схема монтажная. 4. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации. 5. Общий вид шкафа управления. 6. Перечень элементов шкафа 7. Схема принципиальная электрическая шкафа управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Сечин Александр Иванович
Иностранный язык	Пташкин Александр Сергеевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Экспериментальные исследования (The effect of metal and non-metal additives to gel fuel on the ignition and combustion behavior of particles exposed to radiant heating)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.22
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ИШФВП	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Сидоров Денис Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 147 с., 26 рис., 29 табл., 62 источника.

Ключевые слова: гелеобразное топливо, поливиниловый спирт, маслonaполненный криогель, металлизированные частицы, автоматизированная система управления, программируемый логический контроллер, SCADA-система.

Объектом автоматизации является система подачи топлива испытательной установки.

Цель работы – проектирование автоматизированной системы управления подачей типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы автоматизированной системы управления, проектирование функциональной схемы, монтажной и принципиальной электрической схем, а также разработка чертежа общего вида шкафа управления, выбор технических средств и приборов автоматизации с последующим составлением заказной спецификации, разработка мнемосхемы проекта.

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ИМ – исполнительный механизм;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и аппаратура;

КТС – комплекс технических средств;

ПАВ – поверхностно-активные вещества;

ПАЗ – противоаварийная автоматическая защита;

ПВП – поливинилпирролидон;

ПВС – поливиниловый спирт;

ПЛК – программируемый логический контроллер.

РО – регулирующий орган;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

ШУ – шкаф управления;

% масс. – массовые проценты;

% об. – объемные проценты;

10 %-ном. – 10 % процентном.

Оглавление

Введение.....	12
1 Научно-исследовательская работа	16
1.2 Приготовление гелеобразных топлив	16
1.3 Реологические свойства масляных эмульсий	20
1.4 Характеристики плавления гелеобразного топлива.....	22
1.5 Экспериментальные исследования	23
1.6 Результаты исследований.....	27
1.7 Основные заключения	36
2 Разработка АСУ ТП подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания.....	38
2.1 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления	42
2.2 Разработка функциональной схемы	44
2.3 Выбор технических средств автоматизации	46
2.3.1 Выбор регулирующего устройства	48
2.3.2 Выбор датчиков температуры	50
2.3.3 Выбор датчиков давления	52
2.3.4 Выбор средств измерения расхода.....	54
2.3.5 Выбор датчика уровня.....	55
2.3.6 Выбор исполнительного механизма	57
2.3.7 Выбор пускателя для исполнительного механизма	58
2.4 Разработка монтажной схемы.....	59
2.5 Разработка схемы электрической соединений.....	61
2.6 Разработка внешнего вида шкафа управления	62

3	Расчет параметров настройки ПИ – регулятора	64
3.1	Идентификация объекта регулирования	64
3.2	Определение оптимальных параметров настройки регулятора.....	67
3.3	Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия	69
3.4	Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущения	73
4	Разработка мнемосхемы процесса подачи топлива.....	78
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	83
5.1	Потенциальные потребители результатов исследования	84
5.2	Анализ конкурентных технических решений.....	85
5.3	FAST-анализ	87
5.3.1	Выбор объекта FAST-анализа	87
5.3.2	Описание функций объекта	87
5.3.3	Определение значимости выполняемых объектом функций.....	88
5.3.4	Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования	90
5.3.5	Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	91
5.3.6	Оптимизация функций, выполняемых объектом	92
5.4	Планирование научно-исследовательской работы.....	92
5.5	Бюджет научно-технического исследования	95
5.5.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования ...	95
5.5.2	Амортизация.....	96
5.5.3	Заработная плата исполнителей	96

5.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	98
5.5.5 Накладные расходы	99
5.5.6 Смета затрат на оборудование.....	99
5.5.7 Формирование затрат научно-исследовательского проекта	101
5.6 Ресурсоэффективность	101
5.7 Вывод по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	102
6 Социальная ответственность	105
6.1 Введение.....	105
6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	105
6.2.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	106
6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	107
6.3 Производственная безопасность	108
6.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	110
6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	110
6.3.3 Расчет вредного производственного фактора.....	115
6.3.4 Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействия опасных и вредных факторов на работающего (исследователя)	118
6.4 Экологическая безопасность.....	119
6.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	119
6.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду ...	119
6.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	120
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	120

6.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	120
6.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований	121
6.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	121
6.6 Выводы по разделу	122
Заключение	124
Список использованных источников	125
Приложение А The effect of metal and non-metal additives to gel fuel on the ignition and combustion behavior of particles exposed to radiant heating.....	132

Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.006 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.006 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.006 СО1	Заказная спецификация приборов и средств автоматизации
ФЮРА.421000.006 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.006 Э4	Схема электрическая соединений
ФЮРА.421000.006 ПЭ	Перечень элементов шкафа управления
ФЮРА.421000.006 ВО	Общий вид шкафа управления

Введение

Гелеобразные топлива – это горючие жидкости, реологические свойства которых изменены путем добавления загустителей [1]. Консистенции гелеобразных топлив могут варьироваться от пастообразной (пластически деформируемой) до твердой (упруго деформируемой). Такие топлива благодаря широкой номенклатуре компонентов и преимуществами по сравнению с жидкими и твердыми топливами могут применяться как в энергетической, так и в ракетно-космической отраслях промышленности. Гелеобразные топлива, с одной стороны, мало подвержены утечкам и испарению [1], произвольному воспламенению в результате трения или электростатического разряда [2], изменению (за счет осаждения под действием силы тяжести или ускорения) распределения твердых компонентов в объеме топлива [3] и расслоению (разделению изначально жидких компонентов) [4] в процессе хранения. С другой стороны, они имеют высокие энергетические характеристики, при нагревании становятся текучими и могут транспортироваться по трубопроводам и распыляться в камерах сгорания [5], процессы их зажигания и горения протекают достаточно интенсивно и, как правило, сопровождаются диспергированием [6,7], малым недожогом компонентов и относительно низким уровнем антропогенных выбросов [8].

Тематика гелеобразных топлив достаточно актуальна в последнее время вследствие перспектив освоения космоса, территорий Арктики и Антарктики, а также снижения загрязнения окружающей среды различного рода отходами [1]. В рамках тематики гелеобразных топлив можно выделить следующие направления исследований: реологические характеристики [9–11], течение [12–14] и распыление [5,15], зажигание и горение [8,16,17], практические приложения [2,18]. За предыдущие несколько десятилетий изучения гелеобразных топлив самое большое количество статей было опубликовано по результатам исследования реологических свойств [1]. Но за последние несколько лет основной годовой прирост публикаций в рамках

тематики гелеобразных топлив приходится на результаты изучения процессов их зажигания и горения.

Как правило, для получения гелей в состав исходных горючих жидкостей вводят загуститель. В качестве такого компонента при приготовлении гелеобразных топлив на основе масел нефтяного происхождения могут быть использованы полимерные композиции, например, водные растворы поливинилового спирта. Цикл замораживания / оттаивания таких растворов ведет к образованию упругих криогелей, температура плавления которых превышает 60 °С. Путем введения в исходный водный раствор ПВС горючей жидкости могут быть получены масляные эмульсии, которые после замораживания и оттаивания примут гелеобразное состояние и будут являться маслонаполненными криогелями. В отличие от исходного состояния горючая жидкость не испаряется со свободной поверхности образцов криогелей, что снижает ее пожарную и экологическую опасность [19].

Помимо поливинилового спирта возможно применение этаноламина. Этаноламин считается экологически чистой топливной добавкой, поскольку он малотоксичен и не является канцерогенным по своей природе. В работе [20] предпринимаются усилия, чтобы сформулировать и приготовить этаноламиновые гелевые системы с использованием чистой агарозы и гибридов парных гелеобразующих агентов (агароза + поливинилпирролидон (ПВП), агароза + SiO₂ и ПВП + SiO₂). Для достижения этих целей, было выполнено несколько реологических экспериментов (в том числе потока и динамических исследований).

Результаты показывают, что сформулированные этаноламинные гели являются тиксотропными по природе с пределом текучести между 30 и 60 Па. Кажущаяся вязкость геля уменьшается при увеличении температуры испытания, и кажущаяся энергия активации является самой низкой для этаноламин - (ПВП + SiO₂) гелевой системы.

Динамическое исследование реологии показывает, что тип гелеобразователя, выбор гибридных гелеобразующих материалов и их концентрация, применяемые частоты и деформации – все это влияет на вязкоупругие свойства этаноламиновых гелевых систем.

Вместе с полимерными композициями для приготовления гелеобразных топлив применяются также добавки металлических частиц. В статье [21] при приготовлении топлива использовались алюминиевые частицы, для улучшения рабочих характеристик установок, использующих данный вид топлива.

Механизм распыления металлизированного топлива отличается от механизма распыления обычного жидкого топлива из-за высокой вязкости.

Чтобы понять механизм распыления этой суспензии, было проведено исследование на геле, в котором проанализировано влияние металлических частиц в качестве добавок наряду с реологическими свойствами жидкости.

Было установлено, что полученная суспензия является неньютоновской жидкостью со свойствами разжижения при сдвиге. Вязкость пропорционально растет с содержанием алюминиевых частиц и средним диаметром частиц. Реологическое поведение суспензий может быть выражено с использованием модели степенного закона в предпринятом диапазоне скоростей сдвига.

В исследовании [22] эксперимент был в основном сфокусирован на изучении гиперголичности и задержки воспламенения топливной бипропеллентной системы на основе этанолового геля. Для эксперимента в качестве базового топлива и производного целлюлозы в качестве гелеобразующего агента использовали этанол (чистота 99,8 %) Образец топливного геля содержит 8 % гелеобразующего агента. Составленное гелевое топливо было тиксотропным по своей природе с низкой кажущейся вязкостью и пределом текучести, что является существенным параметром для системы гелеобразного топлива. Гиперголичность бипропеллентной системы была

выполнена с помощью подходящего катализатора, в этом случае был использован хлорид меди.

Исследование видимой вязкости для полученного топлива проводилось при двух различных диапазонах скорости сдвига, которые составляют $0...20 \text{ с}^{-1}$ и $0...1000 \text{ с}^{-1}$.

Результаты показывают, что предел текучести для данного вида топлива составляет около 27 Па и кажущаяся вязкость для наблюдаемой точки выхода составляет около 25 Па для случая низкой скорости сдвига, однако для высокой скорости сдвига предел текучести не наблюдался.

Как можно заметить из приведенных исследований, главной особенностью гелеобразных топлив является изменение реологических свойств в зависимости от температуры, наиболее значимым является изменение вязкости.

Для практического применения таких топлив их необходимо транспортировать по трубопроводам, от бака, где оно хранится, до камеры сгорания. В связи с этим возникают определенные трудности, например, такие как обеспечение режимов поддержания заданной температуры трубопровода и бака, с целью сохранения оптимальных параметров текучести и вязкости.

Цель данной работы – изучение реологических характеристик типичных гелеобразных топлив, закономерностей процессов, протекающих при транспортировке таких топлив по трубопроводам, способов регулирования расхода и разработки соответствующей трехуровневой микропроцессорной АСУ ТП.

1 Научно-исследовательская работа

Применение горючих жидкостей, как основы при приготовлении типичных гелеобразных топлив, а также добавление металлизированных частиц является перспективным решением в проблеме загрязнения окружающей среды [23].

1.2 Приготовление гелеобразных топлив

Приготовлена группа составов гелеобразных топлив на основе маслонаполненных криогелей (табл. 1.1), содержащих мелкодисперсные металлические (медь) частицы.

Таблица 1.1 – Составы гелеобразных топлив

No. состава	Концентрации компонентов топлива		
	Маслонаполненный криогель		Добавка мелкодисперсных частиц к маслонаполненному криогелю
	Водный раствор ПВС (10% масс.), % об.	Масло И-40А, % об.	Частицы Си, % мас.
1	50*	50	–
2	50*	50	10
3	50*	50	30
4	50*	50	50

*с учетом добавки 2% об. эмульгатора (ПАВ).

Основные характеристики компонентов гелеобразных топлив, следующие:

- дисперсионная среда – водный раствор (вода дистиллированная с проводимостью не более 5 мкСм/см) ПВС Kuraray Poval 15–99, вязкость 4 % (DIN 53015) 13,4 мПа·с, степень гидролиза 99,2 %, содержание остаточного ацетила 0,8 % (Kuraray Co., Ltd, Япония);
- дисперсная фаза – индустриальное масло И-40А (ГОСТ 20799-88, Россия): кинематическая вязкость 61–75 сСт (при 40 °С); плотность 868 кг/м³ (при 20 °С); зольность не более 0,005% мас.; температура замерзания не выше минус 15 °С; температура вспышки не ниже 220 °С;
- эмульгатор (ПАВ) – Tween 80, монолеат полиоксиэтилен (20) сорбитана (Вектон, Россия);
- мелкодисперсные металлические частицы – нанопорошок меди (условное обозначение далее Cu): 98 % мас. Cu + 2 % мас. др. химические элементы, размер частиц 50–110 нм, (Плазмотерм, Россия);

Процесс приготовления топлива и подготовки образцов к проведению экспериментов по зажиганию состоял из четырех основных этапов.

На первом этапе в перчаточном боксе (рис. 1.1), который использовался для приготовления топлив, создавалась инертная среда (содержание кислорода не более 0,1%) для предотвращения формирования в порошках металлов агломератов частиц и роста на них оксидной пленки. Готовился водный раствор поливинилового спирта (ПВС), который обеспечивает гелеобразное состояние топлива за счет формирования полимерной матрицы после цикла замораживания / оттаивания. Порошок ПВС растворяли в воде с помощью лопастной мешалки ES-8300 D (Экрос, Россия) при 500 об./мин. Для интенсификации процесса растворения ПВС воду нагревали до температуры 80 °С.

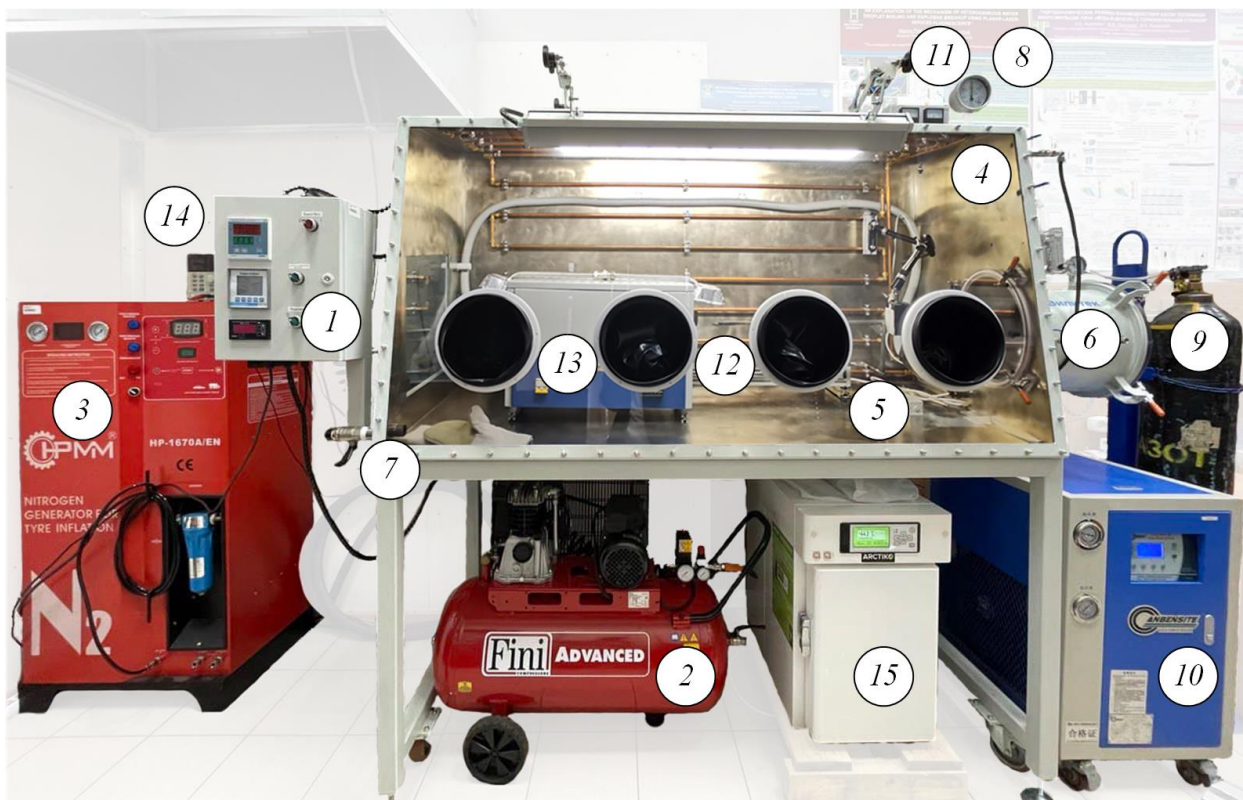


Рисунок 1.1 – Внешний вид стенда для приготовления топлив, а также для проведения исследований процессов зажигания и горения частиц гелеобразных топлив: 1 – щит управления; 2 – компрессор; 3 – генератор азота; 4 – рабочая камера; 5 – газоанализатор; 6 – шлюзовая камера; 7 – сбросной клапан; 8 – тягонапоромер; 9 – баллон с азотом; 10 – чиллер; 11 – блок питания; 12 – координатный механизм; 13 – трубчатая муфельная печь; 14 – система откачки газов; 15 – морозильная камера

На втором этапе в водный раствор ПВС вводилась соответствующая доля масла (50% об.) для приготовления первичной масляной эмульсии в результате диспергирования компонентов высокоскоростным диспергатором GJ-3S (Qingdao ChuangMeng Instrument Co., Ltd., Китай) при частоте вращения вала 11000 об./мин. Для повышения стабильности эмульсий применялся эмульгатор (ПАВ) Tween[®] 80, его концентрация составляла 2 % об. Таким образом, концентрация компонентов (масло и водный раствор ПВС) в топливной эмульсии составляла 1:1 в объемных долях. Полученную первичную эмульсию разделяли на 8 частей, которые в дальнейшем

использовали для приготовления топливных составов №1...№4 (табл. 1). Из первой части получали непосредственно маслonaполненный криогель (топливный состав №1). Далее после вскрытия в инертной среде перчаточного бокса (рис. 2) герметичных упаковок коммерческих порошков металлов они вводились порциями в приготовленные масляные эмульсии (см. табл. 1) до достижения концентрации 30 % мас. в условиях постоянного перемешивания лопастной мешалкой при 3000 об./мин. Длительность перемешивания после добавления каждой порции составляла не менее 15 мин.

На третьем этапе приготовленные суспензии и эмульсии разливали в металлические цилиндрические емкости (диаметр 30 мм, высота 10 мм) (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Внешний вид пеллет топливных составов: *a* – №1. (маслonaполненный криогель); *б* – №3 (30% Cu)

Непосредственное формирование гелеобразной структуры топлива происходило при реализации последовательных процессов замораживания суспензий и эмульсий при температуре минус 15 °С в течение 12 часов и оттаивания топливных пеллет в течение 12 часов при температуре 20 °С.

На четвертом этапе топливные пеллеты нарезались в перчаточном боксе в инертной среде при температуре 20 °С на частицы массой 5 мг, которые использовались при проведении экспериментальных исследований процессов зажигания и горения.

1.3 Реологические свойства масляных эмульсий

Реологические измерения проводились сразу после приготовления эмульсий с помощью вискозиметра Brookfield DV в диапазоне скоростей 0,1...250 об/мин. Перед измерением каждый образец был выдержан при температуре 20 °С в течение 30 мин. Точность температурного контроля составляет $\pm 0,2$ °С. Полученные кривые течения и кривые вязкости представлены на рис. 1.3 и 1.4, соответственно.

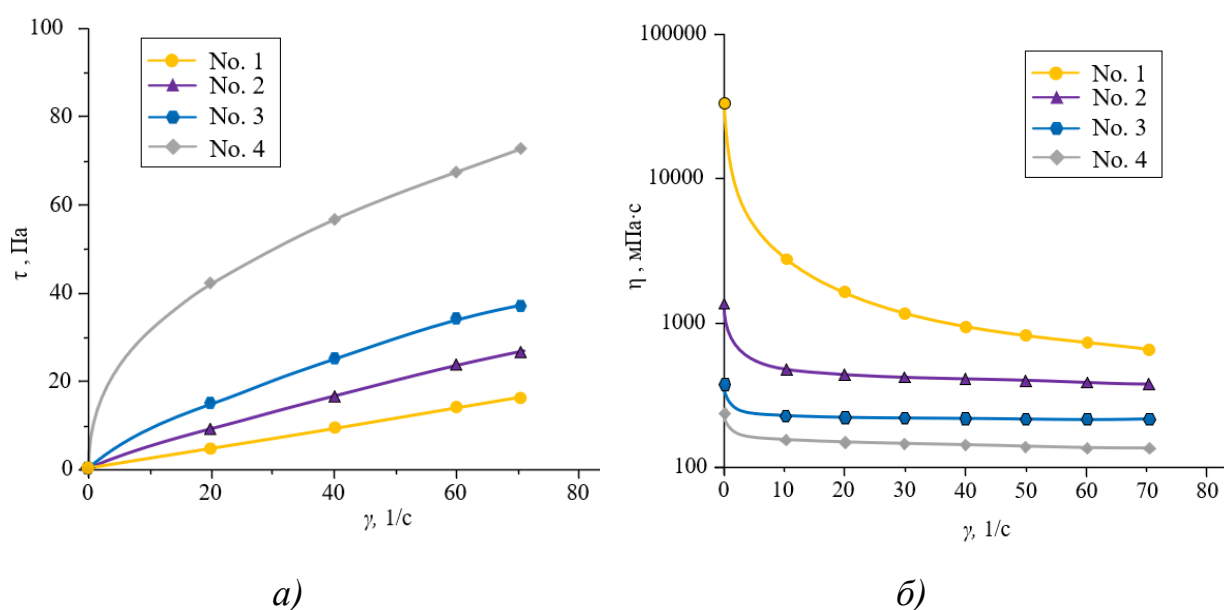


Рисунок 1.3 – Кривые течения (а) и вязкости (б) эмульсий с разной концентрацией меди на основе 10 %-ного раствора ПВС

Описание реологического поведения приготовленных гелеобразных топлив проводилось с использованием модели Гершеля-Балкли [24–27], которая хорошо описывает реологические свойства псевдопластических жидкостей и, как правило, применяется при анализе течения концентрированных эмульсий.

Основное уравнение модели Гершеля-Балкли:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n, \quad (1.1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па;

τ_0 – предел текучести, Па;

K – показатель консистенции, Па·с;

$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, 1/с;

n – индекс течения.

Значения параметров в уравнении Гершеля – Балкли (1.1), полученные для топлив разного компонентного состава, на основе результатов выполненного экспериментального исследования приведены в табл. 1.2

Таблица 1.2 – Значения параметров в уравнении Гершеля – Балкли для эмульсий при разных концентрациях ПВС в водной фазе и содержании масла

Состав	τ_0 , Па	K , мПа·с	n	$\dot{\gamma}$, 1/с	Adj. R^2
Водный раствор ПВС 10 % масс.					
50 % об. масла, без добавления меди	1,0326	545,2	0,7022	0...130	0,99705
50 % об. масла, 10 % мас. меди	0,0339	228,7	1,0039	0...70	0,99997
50 % об. масла, 30 % мас. меди	0,0188	700,2	0,8588	0...70	0,99987
50 % об. масла, 50 % мас. меди	3,6332	10074,8	0,4500	0...70	0,99923

Результаты (рис. 1.3) иллюстрируют, что вязкость растворов ПВС с добавлением металлизированных частиц меди остается постоянной практически во всем диапазоне скоростей сдвига 0...140 1/с. Зависимости $\tau=f(\dot{\gamma})$ имеют линейный вид $n \approx 1$ (табл. 1.2), а соответствующие кривые (рис. 1.3) проходят через начало координат $\tau_0 \approx 0$ (табл. 1.2). Таким образом, можно сделать вывод, что водные растворы поливинилового спирта с добавлением частиц меди ведут себя как наиболее типичные ньютоновские жидкости [28].

В свою очередь, реологическое поведение эмульсий не может быть описано уравнением Ньютона. Появление новой фазы в виде капель масла придает таким жидкостям псевдопластические свойства. С ростом содержания дисперсной фазы в эмульсиях увеличивается отклонение от ньютоновского течения [29, 30], о чем свидетельствует снижение индекса течения (n) и возрастание предела текучести (τ_0). Скачкообразное изменение реологических свойств происходит при приближении доли масла в эмульсии к параметру предельной упаковки $\varphi_{\max} \approx 0,74$ (74 %), что объясняется ростом числа контактов между каплями.

Помимо объемной доли масла на реологические свойства эмульсий значительное влияние оказывает вязкость дисперсионной среды, которая для рассмотренных в данной работе составов определяется концентрацией ПВС в водном растворе. Таким образом, увеличение доли меди, в водной фазе приводит к прогрессирующему росту вязкости и структурно-механических свойств масляных эмульсий.

1.4 Характеристики плавления гелеобразного топлива

Температуру плавления ($T_{\text{пл}}$) маслonaполненных криогелей определяли в рамках методики [31]. Топливные пеллеты, находящиеся в открытой цилиндрической металлической емкости, помещали в муфельную печь при начальной температуре 50 °С. Температуру увеличивали с шагом 1 °С. Образцы подвергались нагреву при каждой температуре в течение не менее 5 минут. За температуру плавления принимали значение, при котором образцы топлива переходили из гелеобразного состояния в жидкое во всем объеме. Установлено, что для исследованных топливных составов $T_{\text{пл}} = 64 \dots 66$ °С. Чем меньше концентрация полимера, тем интенсивнее протекает процесс плавления. Максимальное отличие времен плавления разных составов топлива составляет около 70 %. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что маслonaполненные криогели являются перспективными

материалами для снижения экологической и пожарной опасности горючих жидкостей, например, отработанных масел нефтяного происхождения. Полимерная матрица надежно удерживает масло и металлизированные частицы в составе криогеля даже при его нагреве до относительно высоких температур (около 65 °С). Горючая жидкость не выходит на поверхность топливного пеллета, соответственно, не происходит загрязнения окружающей среды и испарения горючих паров со свободной поверхности.

1.5 Экспериментальные исследования

Исследование характеристик зажигания и горения одиночных частиц гелеобразных топлив в условиях диспергирования выполнено с использованием экспериментального стенда (рис. 1.1) с контролируемыми параметрами микроклимата (давление воздуха и концентрация O_2). В рамках данного исследования в рабочей камере перчаточного бокса (рис. 1.1) поддерживались гарантированные значения давления и концентрации кислорода 101,3 кПа и 21 %, соответственно. Зажигание и горение одиночных топливных частиц выполнено в рамках хорошо апробированной экспериментальной методики, основную суть которой характеризует схема экспериментального стенда на рис. 1.4 [32]. Высокотемпературная неподвижная воздушная среда (максимальная температура 1000 °С) генерировалась в полости трубчатой муфельной печи (внутренний диаметр 50 мм, длина 450 мм). Частица топлива массой 5 мг, расположенная на керамическом держателе, вводилась в предварительно прогретую до температуры T_g муфельную печь с помощью координатного механизма. Высокоскоростная видеокамера располагалась на подвижной площадке координатного механизма, поэтому частица топлива находилась в фокальной плоскости объектива видеокамеры в течение всего индукционного периода. Для повышения контраста изображения частицы топлива при видеорегистрации использовалась фоновая LED-подсветка (рис. 1.5).

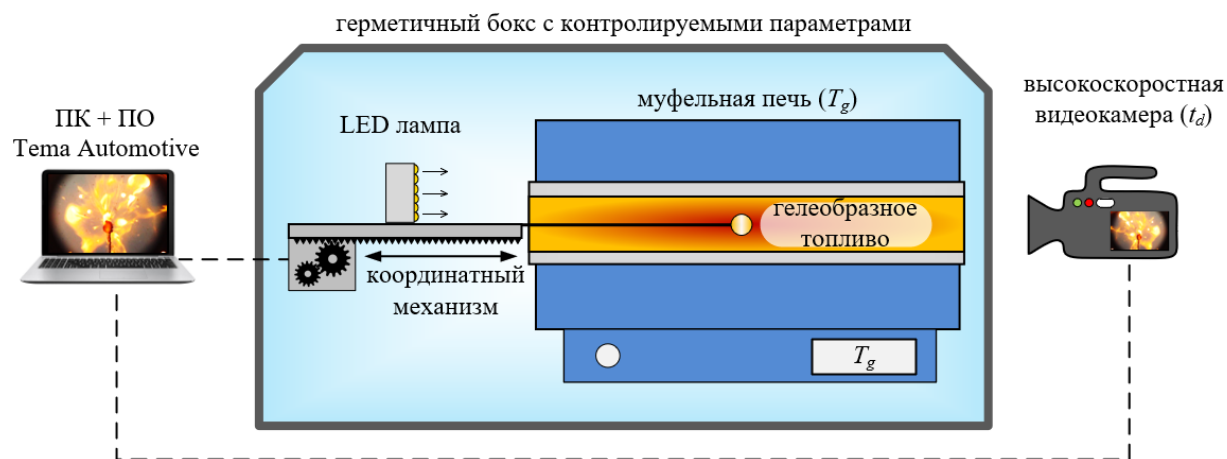


Рисунок 1.4 – Схема экспериментального стенда

При проведении экспериментальных исследований регистрировалась группа характеристик: время задержки зажигания (t_d) частицы топлива; среднее значение скорости движения (V_p) мелкодисперсных фрагментов (продукты диспергирования капли расплава топлива); область выгорания (d_{burn}) мелкодисперсных фрагментов.

При идентичных начальных условиях ($T_g = \text{const}$) проводились серии из 5...10 экспериментов для каждого топливного состава. Обработка видеозаписей выполнялась с помощью программного обеспечения Phantom Camera Control. Типичные видеокдры, иллюстрирующие принципы алгоритмов обработки видеозаписей, представлены на рис. 1.5.

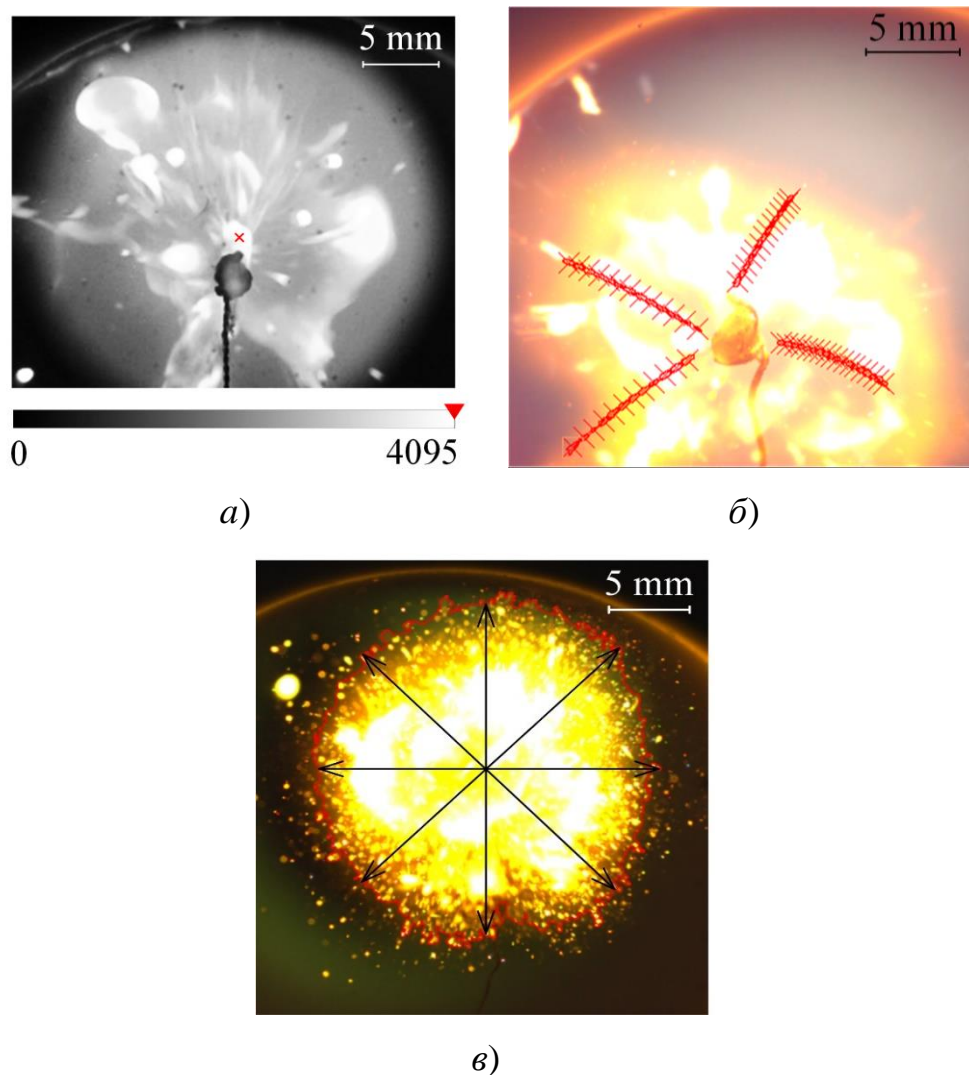


Рисунок 1.5 – Типичные кадры алгоритмов обработки видеозаписей: *а* – момент зажигания топлива ($t=t_d$); *б* – движение фрагментов после диспергирования капли расплава топлива ($t>t_d$); *в* – область выгорания мелкодисперсных фрагментов ($t>t_d$)

Времена задержки зажигания t_d соответствовали длительности временного периода между двумя моментами, определяемыми следующими событиями. Первое событие – это начало индукционного периода, которое контролировалось по моменту ввода частицы топлива в муфельную печь ($t=0$). Второе событие – это воспламенение парогазовой смеси и мелкодисперсных фрагментов после диспергирования капли расплава топлива ($t=t_d$). Наступление этого события соответствовало моменту достижения порогового значения контролируемой интенсивности свечения в области

видеорегистрации (рис. 1.5 а) [33...38]. Алгоритм обработки видеозаписей (ПО Phantom Camera Control) в формате монохромного изображения покадрово контролировал значения оттенков серого (от 0 до 4095 – от черного до белого цвета, соответственно) в каждой точке (пикселе) области видеорегистрации (рис. 1.5 а). В черно-белой цветовой гамме интервал интенсивности свечения 3520–4095 соответствует интенсивному экзотермическому реагированию, т.е. процессу горения, при котором длина волны излучения находится в видимой области спектра электромагнитного излучения. Момент зажигания регистрировался автоматически по достижению (или превышению) порогового значения (3520 в оттенках серого) интенсивности свечения в какой-либо точке в контролируемой окрестности капли расплава топлива. Систематическая и случайная погрешности определения времен t_d , обусловленные скоростью видеорегистрации и разбросом экспериментальных данных, не превышали 0,5 % и 10 %, соответственно.

Скорости движения (V_p) мелкодисперсных фрагментов после диспергирования капли расплава топлива определялись путем анализа результатов в серии из 5...10 экспериментов, выполненных при идентичных начальных условиях. Алгоритм обработки видеозаписей аналогичен методике [39...42]. Траектории перемещения не менее четырех мелкодисперсных фрагментов, отделившихся от капли расплава топлива в результате диспергирования и движущихся в разных направлениях в фокальной плоскости камеры (рис. 1.5б), покадрово отслеживались до момента выгорания топлива или до их выхода из области видеорегистрации. Мгновенные значения скорости движения каждого из контролируемых фрагментов в дискретные моменты времени вычислялись автоматически путем отношения приращения расстояния, пройденного мелкодисперсным фрагментом, к соответствующему промежутку времени (шаг по времени 0.5 мс обусловлен скоростью видеорегистрации). При движении мелкодисперсных фрагментов в области видеорегистрации их скорости

снижались. Максимальное значение V_p соответствовало моменту диспергирования капли расплава топлива. В процессе движения мелкодисперсных фрагментов (до момента выгорания) скорость V_p снижалась на 20...40 % по сравнению с начальным значением. Далее полученные статистические данные усреднялись для каждого эксперимента. Случайные погрешности определения существенно нестационарных значений V_p не превышали 30 %.

1.6 Результаты исследований

На рисунках 1.6...1.9 приведены типичные кадры видеogramм зажигания и горения частиц рассматриваемых в данной работе составов гелеобразных топлив (табл. 1.1) в высокотемпературной неподвижной воздушной среде при $T_g=800$ °С. В подписях к рис. 1.6...1.9 символ t_d характеризует время задержки зажигания.

Для гелеобразных топлив вследствие их многокомпонентного состава (даже без добавления мелкодисперсных твердых частиц) характерно диспергирование капель расплава (рисунок 1.6). Основываясь на результатах выполненных ранее исследований [39], эффект диспергирования (один из наиболее перспективных способов интенсификации зажигания и выгорания многокомпонентных топлив) обусловлен формированием в объеме капли топлива (в виде эмульсии или суспензии) паровых пузырей.

В процессе прогрева топлива эти пузыри наполняются парами горючей жидкости и при достижении критических значений давления схлопываются, при этом капля топлива частично или полностью диспергирует на мелкодисперсные фрагменты. Горючие пары, содержащиеся в пузырьках, вдуваются в высокотемпературную среду окислителя в окрестности капли, где они воспламеняются.

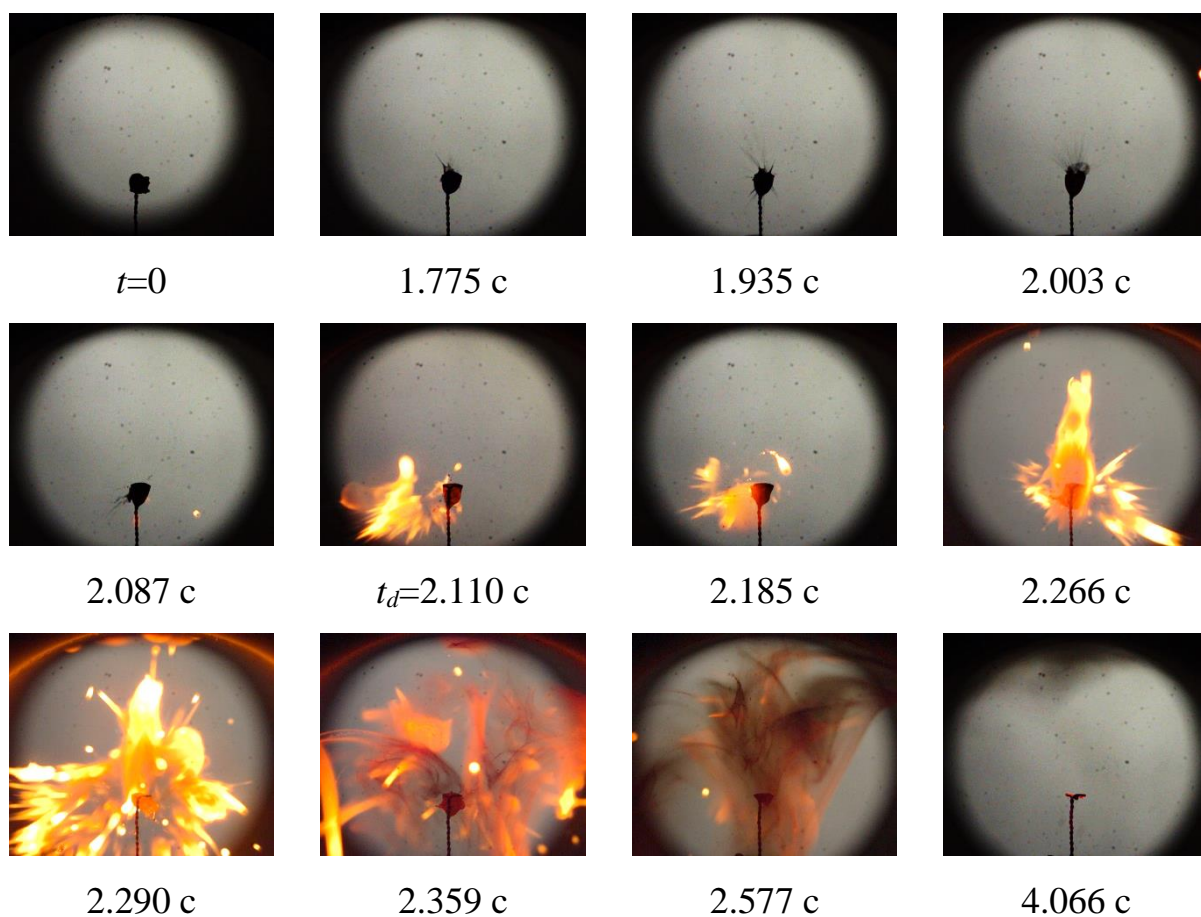


Рисунок 1.6 – Типичные кадры видеограммы зажигания и горения частицы гелеобразного топлива (состав №1 маслonaполненный криогель без добавления твердых компонентов) при $T_g=800$ °С.

На примере типичного гелеобразного топлива (состав №1 – маслonaполненный криогель) установлена следующая совокупность взаимосвязанных физико-химических процессов, протекающих в конденсированной фазе и газовой среде при нагреве одиночной частицы гелеобразного топлива в высокотемпературной неподвижной среде окислителя. В процессе лучистого нагрева топливо начинает плавиться, а образующаяся на поверхности частицы жидкость – испаряться.

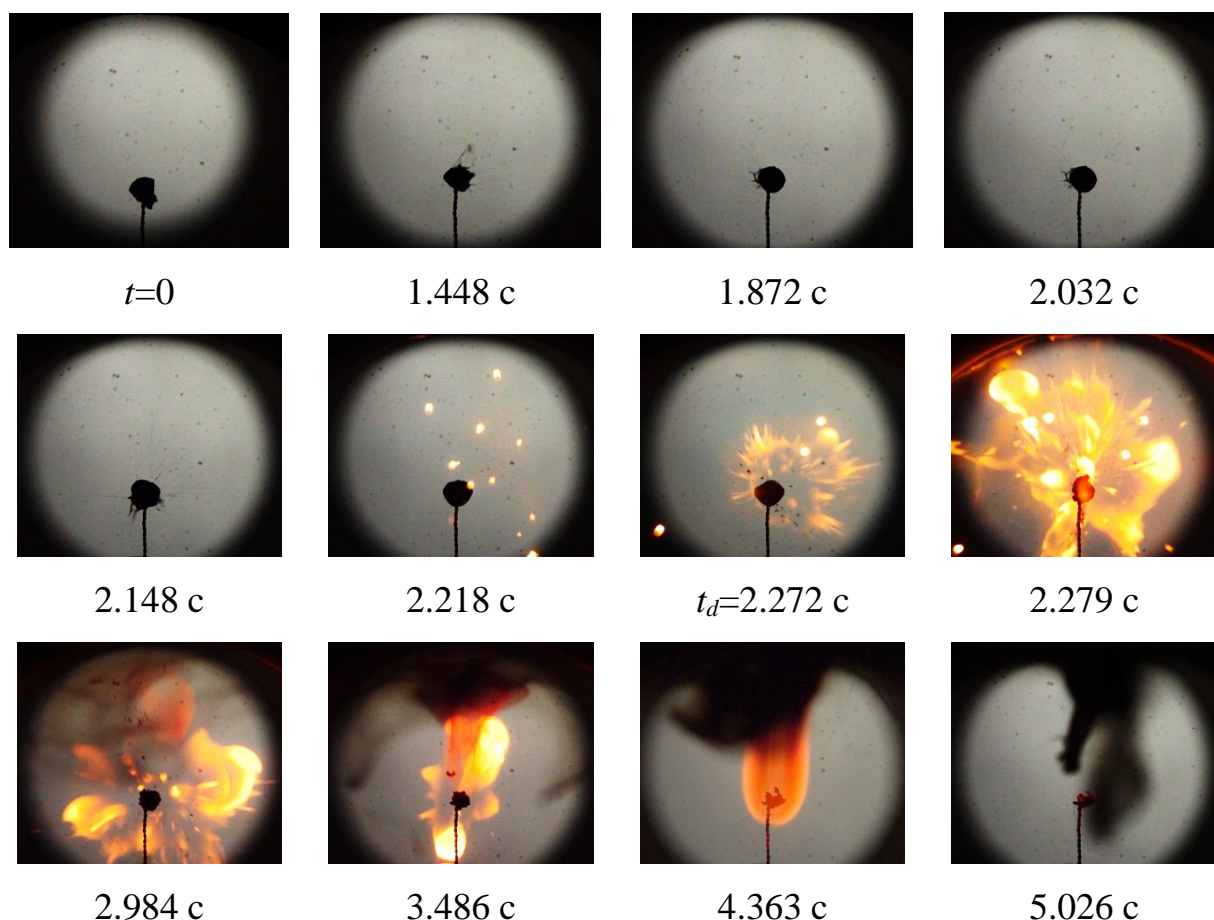


Рисунок 1.7 – Типичные кадры видеोगраммы зажигания и горения частицы гелеобразного топлива (состав №2 с добавлением 10 % масс. мелкодисперсных частиц Cu) при $T_g=800$ °С.

В окрестности частицы формируется горючая парогазовая смесь, которая не воспламеняется из-за относительно низкой температуры (температура паров не превышает температуры кипения жидкого горючего компонента топлива) и концентрации горючих паров. Жидкие компоненты топлива (горючее и загуститель) после его плавления разделяются. Из-за отличия поверхностного натяжения загуститель образует оболочку на поверхности капли расплава, горючая жидкость (масло) располагается внутри капли под слоем загустителя. При дальнейшем прогреве капли в объеме горючей жидкости формируются пузырьки пара.

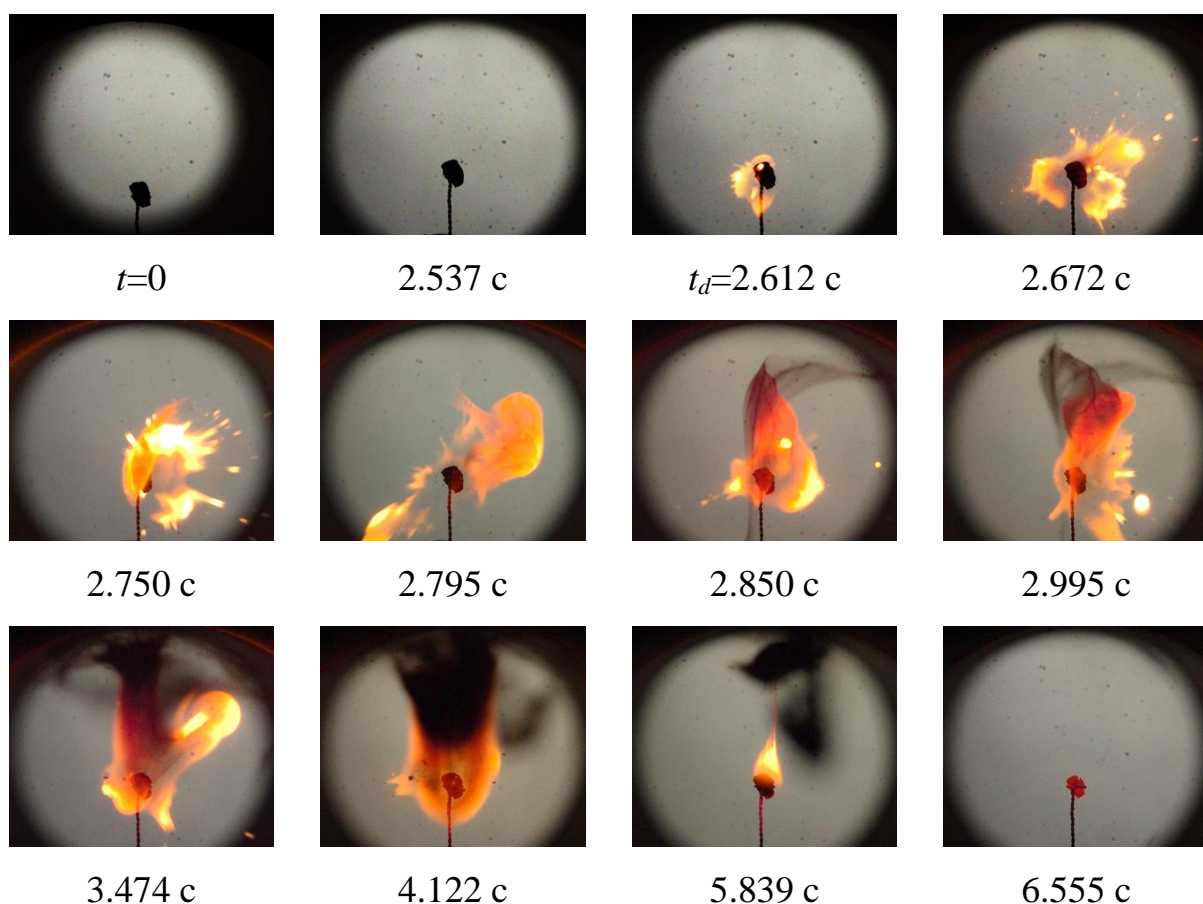


Рисунок 1.8 – Типичные кадры видеोगраммы зажигания и горения частицы гелеобразного топлива (состав №3 с добавлением 30 % масс. мелкодисперсных частиц Cu) при $T_g=800$ °С.

С ростом размеров (из-за повышения давления при прогреве) они достигают границы горючая жидкость / загуститель. Вязкость и плотность выше по сравнению с аналогичными характеристиками горючей жидкости, поэтому при достижении критических условий по давлению в результате схлопывания пузырька происходит локальный разрыв оболочки загустителя и пары горючего совместно с микрокаплями топлива вдуваются в газовую среду разогретого окислителя на достаточно большое расстояние от поверхности исходной капли, где температура окислителя выше, чем в окрестности поверхности капли (из-за протекания эндотермического процесса испарения). Мелкодисперсные фрагменты, двигаясь в высокотемпературной среде,

интенсивно испаряются, увеличивая концентрацию летучих, которые воспламеняются в достаточно большом по размерам объеме.

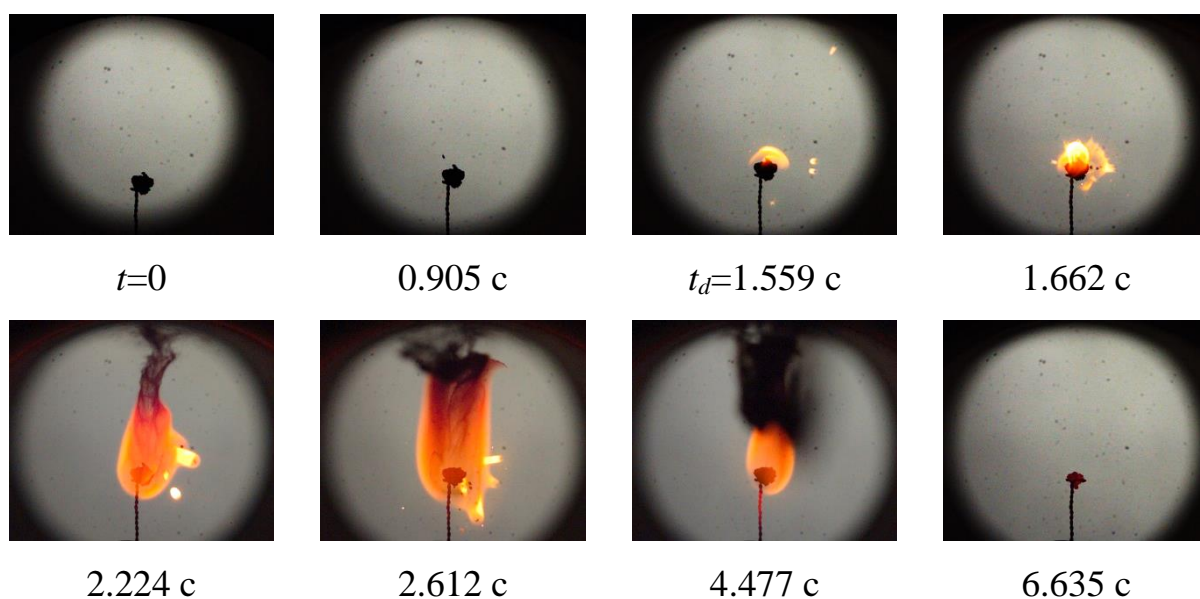


Рисунок 1.9 – Типичные кадры видеोगраммы зажигания и горения частицы гелеобразного топлива (состав №4 с добавлением 50 % масс. мелкодисперсных частиц Cu) при $T_g=800$ °С.

Стоит отметить, что добавление мелкодисперсных твердых частиц в состав гелеобразного топлива снижает интенсивность протекания процесса диспергирования капли расплава топлива (рис. 1.7...1.9) при прочих идентичных условиях. В таких условиях воспламенение парогазовой смеси в окрестности поверхности капли происходит без ее диспергирования. Этот процесс протекает уже непосредственно при газофазном горении топлива при $t > t_d$. В таких условиях диспергирование капли не влияет на характеристики зажигания топлива, но после его воспламенения интенсифицирует выгорание компонентов за счет существенного увеличения площади теплоподвода к поверхности мелкодисперсных фрагментов.

На рис. 1.10 представлены зависимости времен задержки зажигания капель расплавов топлив (начальные масса 5 мг и диаметр 2,8 мм) от температуры разогретого воздуха. Аппроксимационные кривые проведены

через точки, характеризующие средние значения времен задержки зажигания (t_d), установленные в сериях из 5 экспериментов при идентичных начальных условиях. Чем выше температура в камере сгорания (T_g), тем меньше значения t_d . При высоких температурах окружающего воздуха (при $T_g \rightarrow 1000$ °С) отличие времен задержки зажигания всех топливных составов (табл. 1.1) несущественно в связи с тем, что характерные времена процессов тепломассопереноса становятся сопоставимы или даже меньше характерных времен протекания процессов фазового превращения и химического реагирования (рис. 1.10), которые фактически являются основными лимитирующими факторами процесса воспламенения топлива. Можно сделать вывод, что в условиях интенсивного нагрева ни компонентный состав топлива, ни концентрация мелкодисперсных частиц в его составе не оказывают существенного влияния на основную характеристику процесса – время задержки зажигания.

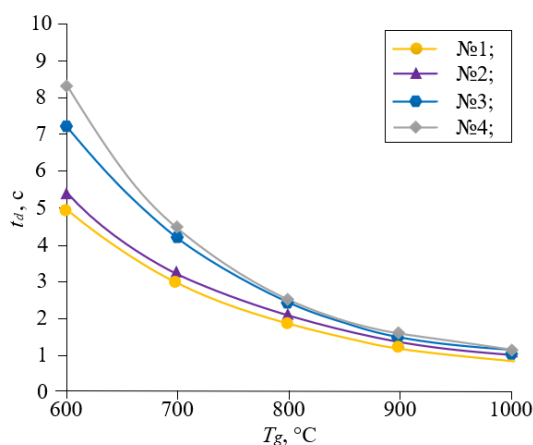


Рисунок 1.10 – Зависимости времен задержки зажигания частиц гелеобразных топлив от температуры разогретого воздуха в зависимости от концентрации твердых мелкодисперсных включений.

Более существенное отличие характеристик зажигания для топлив с разным компонентным составом характерно для относительно низких температур источника энергии (рис. 1.10). При температурах в муфельной

печи, соответствующих предельным условиям зажигания гелеобразных топлив ($T_g=600\text{ }^\circ\text{C}$), времена задержки зажигания могут различаться более, чем в 2 раза. Таким образом, достижение условий диспергирования критически важно для интенсификации зажигания топливных композиций.

Одним из необходимых условий реализации диспергирования капель топлив, помимо присутствия в составе двух разнополярных (взаимно нерастворимых) жидких компонентов (один – с доминированием полярной составляющей, а другой – с доминированием дисперсной составляющей свободной поверхностной энергии) с относительно близкими значениями температуры кипения, является высокий градиент температур внутри топливной частицы (или капли расплава).

Для всех металлизированных составов гелеобразного топлива времена задержки зажигания на 30 % и более выше по сравнению с безметальным составом №1 (рис. 1.10). С одной стороны, это обусловлено уменьшением доли горючей жидкости, с другой стороны, увеличением теплоаккумулирующей способности металлических компонентов топлива.

Чем выше концентрация металла в составе топлива, тем больше t_d во всем диапазоне варьирования температур источника нагрева. С одной стороны, это обусловлено снижением доли жидкой горючей составляющей. С другой стороны, повышение доли металла в составе топлива повышает его эффективную теплопроводность, что снижает интенсивность диспергирования капли расплава (рис. 1.6...1.9). Относительно высокая концентрация твердых мелкодисперсных частиц в составе топлива отрицательно влияет на характеристики зажигания и горения, в частности время задержки зажигания и время выгорания. Это связано с тем, что после плавления гелеобразного топлива несмешиваемые жидкости (горючее и загуститель) разделяются, однако при высокой концентрации металлических включений формирование границы раздела во всем объеме топлива, как в составе без твердых включений, затруднено и происходит только на поверхности. Следовательно, образование пузырей, наполненных парами

горючей жидкости, происходит также только в приповерхностном слое. Из-за этого значительная доля топлива (в глубинных слоях капли) не подвержена процессу диспергирования.

По результатам проведенных экспериментов можно судить, что концентрация порошков меди в рассмотренном составе гелеобразного топлива более 10% не влияет положительно на характеристики зажигания в условиях лучистого нагрева. Для определения оптимальной концентрации частиц металлов в составе топлива с целью минимизации времени задержки зажигания необходимо провести дополнительные исследования.

На рисунке 1.11 представлены зависимости скоростей движения мелкодисперсных фрагментов, отделившихся от капель расплавов топлив (при их диспергировании) и движущихся в среде высокотемпературного окислителя. Оценка скоростей движения таких фрагментов позволяет оценить интенсивность процесса. При повышении температуры в камере сгорания скорости движения фрагментов (V_p) возрастают в связи с тем, что процессы теплопереноса протекают интенсивнее при больших значениях T_g . Результаты получены в сериях из 5 экспериментов. Значения скоростей (рис. 1.11) усреднялись для 3–5 движущихся фрагментов в каждом эксперименте.

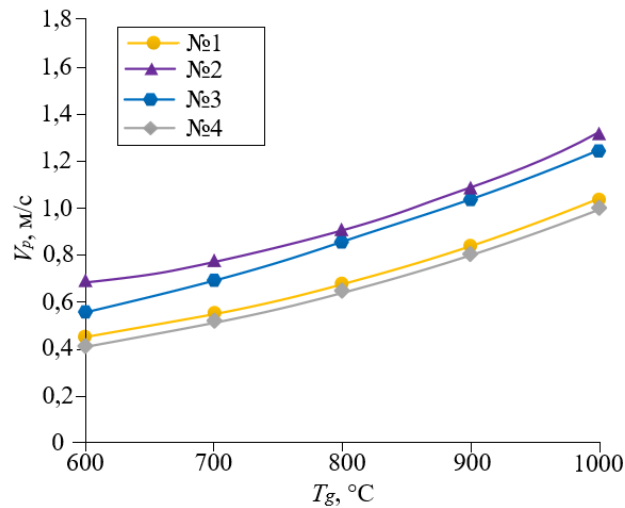


Рисунок 1.11 – Зависимости скоростей движения мелкодисперсных фрагментов после диспергирования капель расплавов гелеобразных топлив от температуры окружающего воздуха.

Важно отметить, что при определении скоростей учитывались движущиеся фрагменты, отделившиеся от основной капли, как до зажигания (если это имело место), так и после. Таким образом, усредненные значения скоростей V_p для некоторых составов могут быть ниже прогнозируемых из-за учета движения фрагментов с низкой кинетической энергией, характерной для индукционного периода. Скорости фрагментов после зажигания, очевидно, будут выше, так как в таких условиях топливо аккумулирует не только тепловую энергию от внешнего источника, но и от области экзотермического реагирования, где происходит выгорание парогазовой смеси. Для исходного маслонеполненного криогеля (№1) это отразилось в значительном снижении средней скорости отделившихся фрагментов, хотя для него и характерно интенсивное диспергирование в процессе выгорания.

Установлено, что скорости движения фрагментов после диспергирования капель расплавов гелеобразных топлив при варьировании концентрации меди для состава №2 выше, чем для составов №3 и №4 (рис. 1.11). Стоит отметить, что в процессе прогрева (до зажигания) состава №2 зарегистрировано стабильное диспергирование частицы топлива, однако

скорости движения данных фрагментов диспергирования не учитывались, так как их достоверная регистрация в условиях используемой экспериментальной методики была невозможна. То есть оптимальная концентрация частиц меди в составе гелеобразного топлива, соответствующая наилучшим характеристикам диспергирования капли расплава топлива, находится в диапазоне до 10%. Тем не менее, для различных металлов разной дисперсности оптимальная концентрация, обеспечивающая наилучшие энергетические характеристики гелеобразного топлива, будет отличаться, и ее установление требует дополнительных исследований.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что составы с добавлением мелкодисперсных металлических частиц могут обеспечивать стабильное диспергирование. При этом от их концентрации, как и от их теплофизических характеристик, зависят характеристики зажигания и выгорания конкретного топлива. Результаты выполненной работы являются основой для будущих исследований по поиску оптимальных концентраций порошков твердых включений и размеров их частиц в составе гелеобразных топлив для обеспечения наилучших энергетических показателей.

1.7 Основные заключения

В результате экспериментальных исследований для группы составов гелеобразных топлив, в том числе с добавлением мелкодисперсных металлических частиц, установлено:

1) напряжение сдвига таких эмульсий нелинейно возрастает с ростом скорости сдвига в заданном диапазоне $0...70$ 1/с, что, в свою очередь, характерно для типичных неньютоновских жидкостей. Реологическое поведение масляных эмульсий описано в рамках модели Гершеля-Балкли.

2) температура плавления гелеобразных топлив на основе маслонаполненных криогелей составляет около 65 °С.

3) отличие механизмов зажигания и горения одиночных частиц в неподвижной высокотемпературной воздушной среде. В отличие от однокомпонентных жидких топлив многокомпонентный состав гелеобразных топлив оказывает положительный эффект на процессы зажигания и горения в условиях диспергирования капель расплавов. Маслонаполненные криогели, приготовленные с добавлением твердых включений (меди) и без них, воспламеняются при лучистом нагреве в диапазоне температур источника энергии 600–1000 °С.

4) при варьировании температуры разогретого неподвижного воздуха от 600 до 1000 °С установлены времена задержки зажигания, диаметры области выгорания, а также скорости отлетающих фрагментов при диспергировании капель расплава топлива. Времена задержки зажигания варьируются в пределах от 1 до 10 с, скорости движущихся в результате диспергирования фрагментов – от 0,3 до 1,4 м/с, средние диаметры области выгорания – от 7 до 15 мм для разных топливных составов. При температурах разогретого воздуха выше 900 °С компонентный состав топлива существенного влияния на времена задержки зажигания не оказывает.

2 Разработка АСУ ТП подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания

В данной работе в качестве объекта автоматизации выступает испытательная установка по сжиганию типичного гелеобразного топлива. Прототипом данной установки выступает испытательный стенд для отработки жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок [43].

Испытательная установка предназначена для определения соответствия объекта заявленным характеристикам благодаря специальным испытаниям.

В общем виде структура испытательной установки представлена двумя взаимосвязанными компонентами, а именно исполнительная часть и управляющая.

На рисунке 2.1 представлена испытательная установка стенда во время испытаний двигателя.



Рисунок 2.1 – Внешний вид стенда для испытаний

К системам испытательной установки, обеспечивающим ее правильное и безопасное функционирование можно отнести следующие:

1) Система топливоподачи, состоящая из топливного бака и дополнительных баков хранилища топлива.

Система топливоподачи используется для хранения и обеспечения испытательной установки различными компонентами топлива (криогенными, высококипящими, низкокипящими, металлизированными и другими).

Во время проведения довольно длительных испытаний обеспечения топливом осуществляется дополнительно из баков хранилища.

2) Система газообеспечения. Содержит в своем составе компрессорные установки для закачки окислителя в баллоны для хранения, и при проведении испытаний для подачи в камеру сгорания.

3) Система отвода продуктов сгорания, содержащая газоотражательные устройства, которые могут охлаждаться при проведении длительных по времени испытаний. Газоотражающие системы обычно выполняются двух видов: открытые и закрытые.

4) Система охлаждения испытательной установки. Применение системы охлаждения обусловлено тем, что при длительных высокотемпературных испытаниях, камера сгорания нагревается до предельно высоких температур. Система охлаждения может быть замкнутой или разомкнутой.

5) Система ПАЗ. Безопасные условия на испытательном комплексе регламентируются действующим нормативом по охране труда – Системой стандартов безопасности труда – ГОСТ 12.0.004-2015 [44].

6) Устройства для глушения шума. При испытаниях источниками повышенного шума являются следующие устройства: насосы, компрессор, задвижки регулирующих клапанов, камера сгорания, и др.

7) Система управления испытательной установкой. В системе управления используется микропроцессорная программируемая контроллерная техника для осуществления непрерывного контроля за процессом испытаний [43].

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы подразумевается разработка автоматизированной системы управления подачей топлива в камеру сгорания.

Регулирование расхода топлива и воздуха, а также поддержание необходимого соотношения между ними осуществляется при помощи электроприводных задвижек, температуры – путем нагрева топливного бака и трубопровода системы топливоподачи при помощи греющих кабелей.

При работе на высокотемпературных режимах регулирование расхода охлаждающей воды выполняется посредством электроприводной запорной арматуры.

Интервал рабочих температур испытательного стенда от минус 55 °С до плюс 36 °С.

Управление установкой осуществляется дистанционно через АРМ оператора с персонального компьютера, установленного в помещении операторной на территории испытательного комплекса.

Информационная модель системы управления подачей топлива формируется на основе входных потоков информации, поступающих в систему и выходных потоков информации между различными уровнями системы.

Информационная модель включает в себя следующие уровни:

- нижний уровень (полевое оборудование КИПиА), использующий: датчики температуры, давления, расхода и уровня
- средний уровень, представленный ПЛК ЭЛСИ ТМК;
- верхний уровень, содержащий АРМ оператора в виде SCADA системы.

Основные технические характеристики испытательного стенда приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Технические характеристики испытательной установки

Основные параметры	Нормы
Расход топлива, м ³ /ч	110
Расход окислителя, м ³ /ч	180
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	80
Наименование продукта	Гелеобразное топливо
Колебания температуры продукта, °С	20...100
Вязкость продукта, Па·с	0,01
Температура затвердевания продукта, °С	40
Плотность продукта, кг/м ³	925
Температура окружающего воздуха, °С	от минус 55 до плюс 36
Основные параметры	Нормы
Диаметр трубопровода, мм	80
Обогрев трубопровода	есть
Тип резервуара	Наземный
Покраска	Стандартный цвет (серый, полимерцинк)
Класс герметичности арматуры	А
Полный срок службы, не менее	10 лет
Полный ресурс, не менее	5000 циклов
Вид взрывозащиты электрооборудования и оборудования КИП	Exd
Материальное исполнение трубопроводов и арматуры	Углеродистая сталь

Продолжение таблицы 2.1

Основные параметры	Нормы
Напряжение питания, В	230/24
Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150	УХЛ4
Категория помещения	А

2.1 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления

Технические средства в архитектуре АСУ ТП разделены на 3 основных уровня.

Нулевой уровень в архитектуре АСУ ТП реализует функции сбора и первичного преобразования информации с технологических устройств, установленных на объекте. В аппаратном плане этот уровень состоит из таких устройств, как датчики, электроприводные задвижки, исполнительные механизмы, устройства связи с объектом (УСО) и другие контрольно измерительные приборы.

Первый уровень архитектуры АСУ ТП выполняет функции управления, регулирования, а также, функции противоаварийной защиты и блокировок. В аппаратном плане этот уровень представлен программируемым логическим контроллером.

Второй уровень в архитектуре АСУ ТП осуществляет функции оперативного (диспетчерского) контроля и управления технологическим объектом. Панель АРМ оператора установлена на персональном компьютере.

Различия между уровнями определяются составом выполняемых прикладных функций и техническими и/или программными средствами, применяемыми для реализации соответствующих функциональных задач.

Структурная схема не должна содержать решений, имеющих двойной смысл, максимально необходимо избегать пересечения линий связи между уровнями. Распределение элементов должно быть лаконично, пространство выбранного формата чертежа должно заполняться элементами схемы равномерно, избегая наличия пустот. Структурная схема должна быть максимально понятна и не должна быть функционально перегружена.

На рисунке 2.2 представлена упрощенная трехуровневая структура разрабатываемой системы.

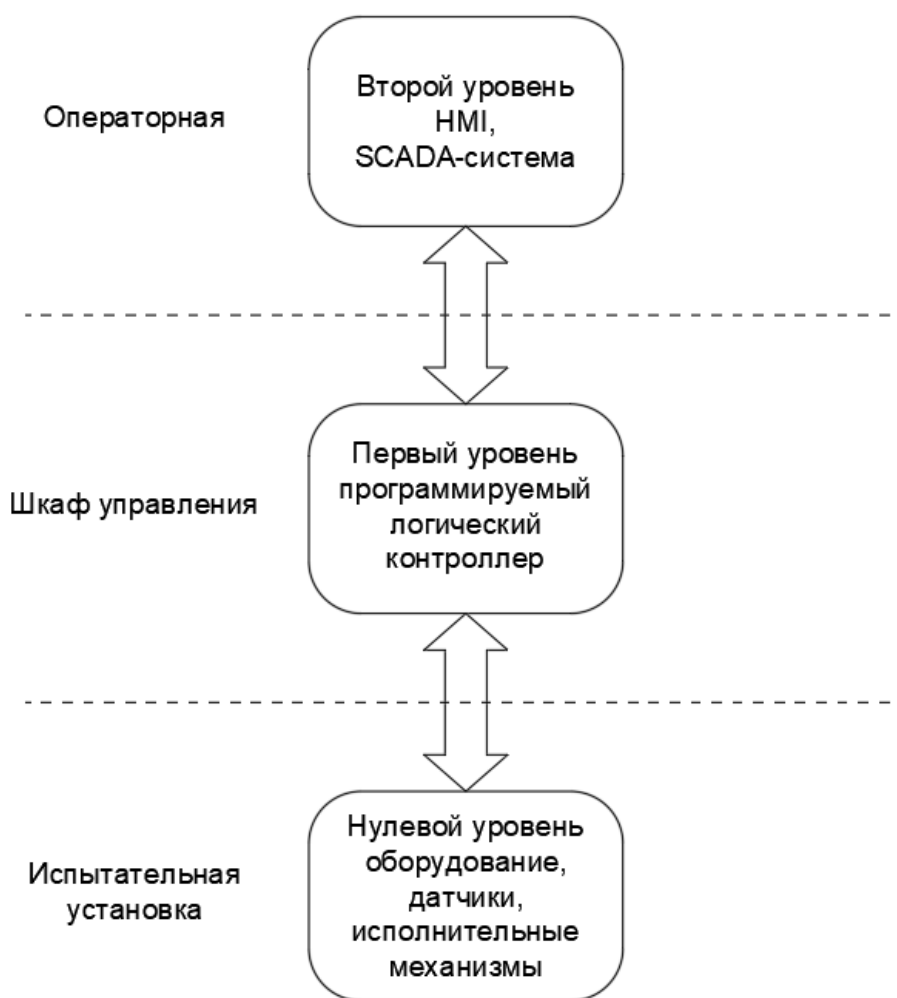


Рисунок 2.2 – Упрощенная структурная схема АСУ ТП подачи топлива

Структурная схема комплекса технических средств системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С1.

Регулирование подачи топлива осуществляется с помощью одноконтурной автоматической системы. Цель автоматического регулирования для одноконтурной схемы состоит в поддержании регулируемой величины на заданном значении при помощи контроллера, который в свою очередь управляет положением регулирующего клапана.

Регулирование температуры топлива в трубопроводе осуществляется при помощи нагревателей сигналом обратной связи служит датчик температуры, установленный на трубопроводе.

Для обеспечения безопасного режима работы на высоких температурах в ходе испытаний – предусмотрено охлаждение камеры сгорания. Теплообменные трубки встроены в стенки камеры сгорания. Охлаждающая вода от емкости подается циркуляционным насосом, расход охлаждающей воды регулируется при помощи электроприводной задвижки.

Регулирование расхода топлива и воздуха перед входом в камеру сгорания осуществляется с помощью электроприводной запорной арматуры. Сигналы от датчиков расхода, установленных на трубопроводе, поступают на ПЛК. Управление электроприводом осуществляется с помощью электрического исполнительного механизма (ИМ), управляющие воздействия для которого вырабатывает ПЛК в соответствии с заданным алгоритмом и режимом работы, таким образом поддерживается оптимальное соотношение топлива воздух для обеспечения максимальной эффективности сгорания топлива.

2.2 Разработка функциональной схемы

Функциональные схемы автоматизации представляют собой основные технические документы, в которых определена функциональная и блочная структура отдельных узлов и элементов.

Функциональная схема АСУ ТП испытательного стенда представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С2.

Отображение технологического оборудования на функциональной схеме автоматизации регламентируется ГОСТ 21.403-80. Технологическое оборудование изображается в виде упрощенных контуров. В общем виде ФСА показывает, как взаимосвязаны отдельные части технологического процесса, принцип его действие, а также взаимодействие с датчиками и техническими средствами автоматизации [45].

При разработке функциональной схемы на первом этапе были определены измерительные каналы (1...18, 20, 22, 24), каналы управления (29...31) и каналы регулирования (19, 21, 23, 25...28). Для измерения температуры в топливном баке используется канал 1. В топливной магистрали установлены 3 датчика температуры для контроля распределения температурного поля. По измеренной температуре определяется эффективность процесса нагрева топлива, для поддержания заданной текучести и вязкости. Расход топлива измеряется с помощью расходомера 15, расходы воздуха с помощью расходомера 16.

При проведении испытаний на высокотемпературных режимах задействуется контур охлаждающей магистрали, отображенный в правой части функциональной схемы. По каналам 6 и 9 измеряется температура воды на входе и выходе из теплообменника. Измерение расхода воды осуществляется по каналу 17. Давления воды на выходе из теплообменника измеряется по каналу 14

Канал 12 предназначен для измерения давления в баке окислителя. Для измерения уровня топлива в баке используется канал 18.

С помощью каналов 19, 21 регулируются расход топлива и воздуха соответственно. С помощью каналов 20, 22 контроллер получает информацию о положении регулирующего клапана. Каналы 25...28 служат для включения нагревателей, а каналы 29, 30, 31 для включения насоса топлива, компрессора и водяного насоса соответственно.

На листе в верхней части функциональной схемы изображена испытательная установка с необходимыми составными частями, первичные преобразователи измеряемых технологических параметров, регулирующие устройства. В нижней части листа изображены приборы, установленные по месту и шкаф управления с установленным на нем контроллером.

2.3 Выбор технических средств автоматизации

Для обеспечения качественной работы АСУ ТП подачи топлива необходимо контролировать перечень параметров, приведенный в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Перечень контролируемых технологических параметров

Параметр, состояние, положение	Форма представления информации			Значение параметров
	щит автоматизации			
	Постоянно	Сигнализация	Регистрация	
1	2	3	4	5
Температура топлива в топливном баке	+	↓↑	+	70 °С
Температура топлива на входе в насос	+			70 °С
Температура топлива после регулирующего клапана	+			70 °С
Температура в камере сгорания вблизи впрыскивающих форсунок	+	↑		1000 °С
Температура топлива на входе в камеру сгорания	+	↓		70 °С

Продолжение таблицы 2.2

Температура воды в охлаждающей магистрали на входе в камеру сгорания	+			20 °С
Температура воздуха на входе в камеру сгорания	+	↓		70 °С
Температура в камере сгорания вблизи выходящих дымовых газов	+	↑		1000 °С
Температура воды в охлаждающей магистрали после камеры сгорания	+			50 °С
Давление топлива в топливном баке	+	↓↑		0,04 МПа
Давление топлива после регулирующего клапана	+	↓	+	1 МПа
Давление в баке окислителя	+	↓↑		1,6 МПа
Давление воздуха на входе в камеру сгорания	+	↑		1 МПа
Давление воды в охлаждающей магистрали после камеры сгорания	+			0,3 МПа
Расход топлива	+	↓↑	+	110 м ³ /ч
Расход воздуха	+	↓↑	+	180 м ³ /ч
Расход охлаждающей воды	+			80 м ³ /ч
Уровень топлива в баке	+	↓	+	2,6 м

Для разработки автоматизированной системы управления необходимо выбрать оборудование, приведенное ниже:

- программируемый логический контроллер (ПЛК);
- датчики температуры;
- датчики давления;
- расходомеры;
- датчик уровня;
- исполнительные механизмы;
- пускатели для исполнительных механизмов.

Выбор средств автоматизации осуществим исходя из цены, диапазона измерений, степени пыле-влажностной защиты, а также возможности применения в пожаро- взрывоопасных условиях.

2.3.1 Выбор регулирующего устройства

Программируемый логический контроллер ПЛК Micro870 производства Allen-Bradley – автоматический регулятор. Используется для установки в системах управления малыми и средними объектами по количеству сигналов ввода/вывода. Технические характеристики прибора представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики ПЛК «Micro870» [46]

Параметр	Значение
Напряжение питания	+24 В
Тип процессора	Cortex ARM8
Потребляемая мощность	7 Вт
диапазон рабочих температур	-20...+65 °С
Аналоговых входов	8 шт. с возможностью расширения
Аналоговых выходов 0...10 В	2 шт.
Аналоговых выходов с ШИМ	2 шт.
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Масса прибора	0,4 кг

Контроллеры ОВЕН ПЛКхх (ПЛК63/ПЛК73) – компактные моноблочные устройства для применения в малых системах автоматизации. Преимущества данного контроллера заключается в его малом размере, а также, наличием входных/выходных аналоговых и дискретных сигналов в корпусе одного устройства. Технические характеристики прибора представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики ПЛК «ОВЕН ПЛК 63» [47]

Параметр	Значение
Напряжение питания	90...245 В, до 63 Гц
Тип процессора	Cortex ARM8
Потребляемая мощность	18 ВА
Тип дисплея	Текстовый монохромный ЖКИ с подсветкой
Аналоговых входов	8 шт.
Аналоговых выходов 0...10 В	6 шт.
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Режим работы интерфейсов	Режим работы интерфейсов
Среда программирования	CODESYS 2.3 (версия 2.3.8.1 и более старшая)
Масса прибора	0,4 кг

Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК – мощная модульная платформа. Использование данного ПЛК, благодаря модульной конструкции возможно в системах различного размера [48].

Отличительные особенности:

- резервирование питания и каналов связи, обеспечивающих высокую надежность;
- полное дублирование корзин контроллера, что в случае непредвиденных обстоятельств позволяет незамедлительно возобновить процессы управления и регулирования;
- развитая система самодиагностики и самокалибровки;

- открытая архитектура программирования, поддержка стандартных протоколов и интерфейсов в соответствии с ГОСТ Р МЭК 870-5-101;

- расширенная номенклатура функциональных модулей;
- «горячая» замена модулей.

ПЛК ЭЛСИ-ТМК в своем составе имеет модульную архитектуру и позволяет использовать расширенный набор необходимых модулей:

- модули питания TP
- процессорные модули TC;
- модули дискретного ввода/вывода TD;
- модули счетных входов;
- модули аналогового ввода/вывода TA;
- коммуникационные модули TN;

Для реализации задачи управления технологическим процессом необходимо 42 аналоговых входа для регистрации параметров, поступающих от датчиков, 6 дискретных входов, 5 аналоговых выходов и 16 дискретных выходных сигналов.

Таким образом, наиболее оптимальным из рассмотренных моделей является ПЛК «ЭЛСИ-ТМК», его модульная структура позволяет сконфигурировать контроллер под любые задачи, «ПЛК Micro870 производства Allen-Bradley» дороже всех рассмотренных моделей, блочная структура ОВЕН ПЛК 63 не обладает достаточным количеством аналоговых выходов.

2.3.2 Выбор датчиков температуры

Рассмотрим термопреобразователи ТПУ-205 (ТХХУ-205)

Термопреобразователи ТПУ-205 предназначены для контроля температуры жидких сред, например: воды, масла и других измеряемых

рабочих сред, химически неагрессивных и не разрушающих материал защитного корпуса термопреобразователя; сыпучих сред, например, муки, сахара, зерна и т.д. и преобразования сигнала о температуре, в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА [49].

ОВЕН ДТС-И термопреобразователи сопротивления с выходным сигналом 4...20 мА.

В данном датчике имеется встроенный высокоточный нормирующий преобразователь, который предназначен для измерения и непрерывного преобразования измеряемой температуры твердых, жидких, газообразных и сыпучих веществ в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4...20 мА.

Данные датчики изготавливаются на базе термометров сопротивления ДТСхх5 (50М, 100М, 100П, Pt100) и используются, когда расстояние от точки измерения до вторичного прибора не более 100 метров, а также в тех случаях, когда вторичные приборы (например, контроллеры) работают только с унифицированными сигналами [50].

Далее в таблице 2.5 представлены технические характеристики данных датчиков.

Таблица 2.5 – Технические характеристики датчиков температуры

Параметр	Средства автоматизации	
	ТСМУ-205	ОВЕН ДТС-И
Датчик температуры	ТСМУ-205	ОВЕН ДТС-И
Диапазон измерения	0...300 °С	0...500 °С
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА
НСХ	100М	РТ100
Класс точности	0,25	0,5
Пыле – и влагозащита	IP65	IP54
Цена	3120 руб.	3174 руб.

Осуществим выбор датчиков, основываясь на цену и степень пыле- и влагозащиты. Таким образом, выбираем датчик ТСМУ-205 100М от производителя Элемер (Россия).

2.3.3 Выбор датчиков давления

Рассмотрим датчики для измерения давления топлива и воздуха в трубопроводах системы топливоподачи.

Датчики давления Метран-150CD, Метран-150CG, Метран-150TG, Метран-150ТА, Метран-150CDR, Метран-150CGR, Метран-150TGR, Метран-150ТАR, Метран-150L предназначены для преобразования давления жидкостей, пара, газа в унифицированный токовый выходной сигнал и цифровой сигнал на базе HART-протокола [51].

Датчик избыточного давления А-10 от производителя «WIKА» (Германия). Датчик А-10 используется для измерения избыточного давления, мановакууметрического давления, абсолютного давления. Из преимуществ можно отметить диапазон измерения давлений. Применение датчика возможно в машиностроении, кораблестроении, контрольно-измерительных технологиях, гидравлике и пневматике, насосах и компрессорах [52].

Датчик МИДА-ДИ 13П-ОМ20. Данный датчик в своем составе имеет встроенный преобразователь. При помощи АЦП выполняется активная компенсация характеристик датчика, например, нелинейность и температурная погрешность. Цифро-аналоговый преобразователь формирует выходной сигнал на уровне 4...20 мА. Кроме того, возможна ручная подстройка датчика в режиме цифрового управления (HART). Датчик и электронный усилитель смонтированы в литом алюминиевом вибро- и ударопрочном корпусе. Канал измерения давления выполнен из нержавеющей стали. Механическое присоединение к процессу обеспечено посредством резьбового соединения, которое может быть выполнено в различных

вариантах. Электрическое подключение осуществляется при помощи обжимного соединения и PG фитинга [53].

Далее в таблице 2.6 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков.

Таблица 2.6 – Технические характеристики датчиков давления

Параметр	Средства автоматизации		
	Метран-150	А-10	МИДА-ДИ 13П-ОМ20
Датчик давления	Метран-150	А-10	МИДА-ДИ 13П-ОМ20
Измеряемая среда	агрессивные жидкости, пары, газы, нефтепродукты	газ, жидкость, нефтепродукты	вода, газы, жидкости топлива, нефтепродукты
Верхние пределы измерений	68 МПа	100 Мпа	От (0...0,16) кПа до (0...60) МПа
Предел допускаемой основной погрешности	0,5 %	1 % (0,5 % – на заказ)	0,1 %
Диапазон температур измеряемой среды	- 45...125 °С	0...80 °С (-30...100 °С по запросу)	0...80 °С (- 40...300 °С по запросу)
Степень защиты	IP65	IP65, IP67	IP65
Присоединение к системе	M20x1,5	G 1/4A по DIN 3851 E (M20x1,5 через переходник)	M20x1,5
Цена	25000 руб.	6966 руб.	39783 руб.

Осуществим выбор датчиков, основываясь на диапазон температур измеряемой среды и верхний предел измерений. Таким образом, выбираем датчик избыточного давления МИДА-ДИ 13П-ОМ20 от производителя ВD SENSORS (Россия).

2.3.4 Выбор средств измерения расхода

Рассмотрим дифференциальные преобразователи давления. Преобразователи переменного перепада давления типа «OPTIBAR DP 7060» от производителя «Krohne» (Германия) предназначены для измерений объемного расхода и массового расхода воды и различных агрессивных сред. Данный расходомер обладает многоуровневой защитой от несанкционированного доступа. На корпусе прибора установлен графический дисплей с подсветкой, отображающий текущее показание расхода, а также позволяющий настроить датчик без применения дополнительного оборудования. Также данный прибор имеет в наличии коммуникационные адаптеры Ethernet, RS-232 [54].

Расходомер Метран-370 от производителя «Промышленная группа «Метран» (Россия). В системах АСУ ТП энергетической, пищевой, химической отраслей промышленности применяется для измерения объемного расхода электропроводящих жидкостей, пульп и суспензий. Использование датчика также возможно в системе коммерческого учета жидкостей [55].

Далее в таблице 2.7 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков.

Таблица 2.7 – Технические характеристики дифференциальных преобразователей давления

Параметр	Средства автоматизации	
	ОПТИВАР DP 7060	Метран-370
Наименование	ОПТИВАР DP 7060	Метран-370
Условный диаметр	80 мм	80 мм
Максимальный расход	200 м ³ /ч	171,7 м ³ /ч
Рабочее давление измеряемой среды, не более	1,6 МПа	4 МПа
Температура измеряемой среды	0...150 °С	-29...180 °С

Продолжение таблицы 2.7

Материал фланца	Нержавеющая сталь	Сталь 20 или нержавеющая сталь
Напряжение питания	12 В постоянного тока	12 В постоянного тока
Пыле – и влагозащита	IP66	IP68
Цена	36960 руб.	50000

Таким образом, так как характеристики рассматриваемых устройств идентичны, то выберем наиболее дешевый вариант – «OPTIBAR DP 7060» от производителя «Krohne» (Германия).

2.3.5 Выбор датчика уровня

Для контроля уровня топлива в баке необходимо подобрать датчик уровня. Сигнализаторы уровня жидкостей по принципу своего действия могут быть поплавковые, магнитные, кондуктивные, емкостные, оптические, вибрационные, ультразвуковые, гидростатические.

Оборудование NivoRadar 3000 FMCW является радарным уровнемером, с рабочей частотой 78 ГГц. Данный агрегат предназначен для измерения уровня не только жидкостей, но и суспензий, крупно- и мелкодисперсных сыпучих материалов любого типа. Диапазон рабочей длины составляет 100 м. Пучок излучения раскрывается на 4 °, что практически полностью минимизирует погрешность измерения. Антенна имеет функцию самоочистки.

Преимущества NivoRadar 3000:

- 1) применение с любыми типами сыпучих материалов и жидкостей;
- 2) компактные размеры (и бесконтактный тип измерения);
- 3) диапазон рабочей температуры: от –40 °С до +200 °С;
- 4) диапазон рабочего давления от 0 до 3 бар;
- 5) точность 0,25 %.

Датчики уровня JFR FMCW работающие по радиолокационному принципу, функционируют в двухчастотном распределении 10 и 26 ГГц. Основным преимуществом данного устройства, является возможность

определения и контроля уровня вещества при его активном перемешивании. Погрешность измерения не превышает 0,5%.

Бесконтактный радарный уровнемер FMCW серии JFR имеет следующие преимущества:

- 1) может работать в условиях повышенного давления, вязкости, перемешивания, пены и сильного запыления;
- 2) возможно выбирать необходимые единицы измерения (м, см, мм, дюйм, Фут, %, ма);
- 3) пригоден для измерения уровня агрессивных и токсичных сред;
- 4) частота зондирующего сигнала не зависит от амплитуды, а эхо-сигналы имеют временное разделение [48].

Радарные уровнемеры для сыпучих материалов SITRANS обеспечивают надежное измерение уровня до 100 м, независимо от места установки. Радарные уровнемеры SITRANS для сыпучих веществ легко справляются с высокой запыленностью и не зависят от температур процесса. Уровнемер SITRANS серии LR560 (2-х проводной) с высокой частотой 78 ГГц имеет узкий конус луча 4° и короткую длину волны. Для веществ с низкой диэлектрической проницаемостью или небольшой плотностью, лучшее решение – SITRANS LR460 (4-х проводной) с частотой 25 ГГц, имеет рупорную антенну с конусом луча 8°.

Технические характеристики рассматриваемых уровнемеров представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Технические характеристики датчиков уровня

Тип	NivoRadar 3000	JFR	SITRANS LR460
Температура материалов, °С	-40...+200	-40...+150	0...+150
Плотность материала	от 20 г/л	от 60 г/л	от 5 г/л
Взрывозащита	есть	нет	нет

Для применения в качестве измерения уровня вязкого топлива лучшим вариантом будет датчик уровня NivoRadar 3000, который дополнительно обладает взрывозащитой.

2.3.6 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм выбираем исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента [56].

Для выбора ИМ рассчитаем максимальное значение крутящего момента по формуле:

$$M_{\max}^{kp} = 6,89 \cdot D_y - 338, \quad (2.1)$$

где M_{\max}^{kp} – максимальное значение крутящего момента, Н·м;

D_y – диаметр трубопровода, мм.

$$M_{\max}^{kp} = 6,89 \cdot 80 - 338 = 213,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выбираем ИМ типа МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б) [57] с номинальным значением момента на выходном валу 250 Н·м, номинальное значение полного хода 0,25 об., номинальное значение времени полного хода 25 с. Данный исполнительный механизм снабжен токовым датчиком положения выходного вала. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети трехфазного переменного тока 380 В. Цена составляет 19000 рублей. Внешний вид исполнительного механизма представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Внешний вид исполнительного механизма

Выберем три исполнительных механизма МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б).

2.3.7 Выбор пускателя для исполнительного механизма

Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3М предназначен для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами по ГОСТ 7192-89, в приводе которых используются трехфазные электродвигатели с электрической мощностью до 4,5 кВт. Пускатель предназначен для применения в системах автоматического регулирования технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

Блоки типа ПБР-3М выпускаются ОАО «ЗЭиМ». Блоки данного типа позволяют работать в режиме повторно-кратковременного включения. В состав блока входит микропроцессор, два интерфейсных канала RS-485, а также входы аналоговых сигналов регулирования и преобразователь питания.

Внешний вид пускателя приведен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Внешний вид пускателя

Выберем три пускателя типа ПБР-3М.

На основе сделанного выбора технических средств составлена заказная спецификация средств автоматизации, приведенная на листе с шифром ФЮРА.421000.006 СО1.

2.4 Разработка монтажной схемы

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показывают электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, которые установлены непосредственно на технологическом оборудовании. Устройства могут устанавливаться на щитах и вне щитов. Схеме присваивают наименование: «Схема соединений внешних проводок».

Схема подключения показывает внешние подключения изделия. На схеме должны быть изображены изделие, его входные и выходные элементы (разъемы, зажимы и т.п.) и подводимые к ним концы проводов и кабелей

внешнего монтажа, указаны данные о подключении изделия (характеристики внешних цепей, наименования проводников, адреса).

При необходимости отдельного изображения электрических и трубных проводок технологического агрегата и т.п. допускается выполнять схемы соединений и подключения отдельно, на разных листах: отдельно для электрических и трубных 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:

- отборные устройства и первичные преобразователи, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы;
- приборы и средства автоматизации, устанавливаемые вне щитов и пультов;
- щиты, пульты, шкафы и т.п.;
- вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термопар и т.п.);
- устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников [58].

Схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С4.

В верхней части схемы расположена таблица с обозначениями измеряемых параметров, измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения измерительных приборов. Ниже условно изображены датчики, от которых отходят кабели. Рядом с кабелем указано его название, поперечное сечение и количество жил, а также протяженность. Линии, проведенные от датчиков, соединены со шкафом управления. Питание 220 В приходит в шкаф управления от щита питания. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами. В цепях систем автоматизации допускается применять провода и кабели с медными жилами с лужеными наконечниками. Кроме требований к материалу проводников (медь и алюминий) и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей необходимо учитывать условия окружающей среды. Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покрытия проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки, а также соответствовали условиям прокладки по пожарной безопасности. При групповой прокладке по кабельным эстокадам кабели не должны распространять горение. При прокладке внутри помещений кабели должны быть с низким дымовыделением, для систем пожарной сигнализации кабели должны сохранять работоспособность в условиях пожара. При выборе проводов и кабелей необходимо также учитывать резерв жил.

2.5 Разработка схемы электрической соединений

Полный состав приборов и средств автоматизации, используемый в составе системы регулирования температуры и расхода топлива отражает принципиальная электрическая схема.

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, присвоенные им на принципиальной схеме. На схеме необходимо указывать обозначения выводов (контактов) элементов,

нанесенные на изделие или установленные в документации изделия. Проводам, жгутам, кабелям на схеме присваиваются порядковые номера.

При выполнении схемы используются развернутые изображения элементов технических средств.

Линии связи должны состоять только из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь минимальное число взаимных пересечений, для облегчения их чтения. Расстояние между соседними параллельными линиями должно быть не менее 5 мм [59].

Совместно с разработкой чертежа принципиальной электрической схемы системы автоматизации должны составляться перечни элементов, входящих в щит. Схема электрическая соединений и перечень элементов представлены на листе с шифром ФЮРА.421000.006 Э4 и ФЮРА.421000.006 ПЭ соответственно.

2.6 Разработка внешнего вида шкафа управления

Шкаф управления (ШУ) отвечает за измерение и контроль значений основных параметров протекающих технологических процессов обслуживаемых систем. В зависимости от состава устройств могут выполняться различные задачи. Отличаться устройства могут по степени пыле- влагозащиты и взрывоопасности. Таким образом будет различаться и отрасль, где применяется то или иное исполнение ШУ.

Чертеж общего вида шкафа управления показывает его конструкцию и взаимодействие его частей. В шкафах систем автоматизации размещаются средства контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительные приборы, сигнальные устройства, аппаратура управления, автоматического регулирования, защиты и блокировки, линии связи между ними. Шкафы систем автоматизации устанавливаются в производственных и специализированных помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.д. Общие виды шкафов должны быть выполнены в объеме, позволяющем

изготовить оборудование на специализированных заводах со всеми вырезами и креплениями, необходимыми для установки приборов, средств автоматизации и вводов проводок. Исходные материалы для проектирования общих видов:

- 1) функциональная схема системы автоматизации;
- 2) принципиальная электрическая схемы.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы управления шкаф ЩМП-5-0 36 производства компании ИЕК [60].

В данном случае для размещения средств автоматизации используем навесной шкаф высотой 1000 мм, шириной 650 мм и глубиной 300 мм ЩМП-5-0 36 УХЛЗ IP31 ИЕК.

Модули контроллера монтируются в верхней части щита управления. Все остальные блоки, входящие в состав системы предназначены для монтажа на рейку DIN-35. В нижней части панели щита расположены сборники клеммных колодок.

Схема общего вида шкафа управления представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 ВО.

3 Расчет параметров настройки ПИ – регулятора

Требования, предъявляемые к регулятору:

- ограничение перерегулирования на уровне 5 градусов.

Превышение заданной температуры в разрабатываемой системе подачи топлива, является недопустимой. Объясняется данное требование тем, что при превышении заданного значения температуры, меняются свойства гелеобразного топлива, происходит расслаивание его компонентов, что в свою очередь приводит к ухудшению процесса зажигания и горения.

- время регулирования – 15 с.

В следствие обеспечения испытательной установкой большого расхода топлива превышение времени регулирования также является недопустимым, так как данный параметр напрямую связан с быстродействием системы и эффективным горением топлива в камере сгорания.

3.1 Идентификация объекта регулирования

Под идентификацией систем понимается совокупность методов предназначенных для построения математических моделей динамической системы по данным наблюдений. Математическая модель в данном случае означает математическое описание поведения какой-либо системы или процесса во временной области. Существует активная и пассивная идентификации. В случае активной – объект исследования выводится из равновесного состояния путем подачи на его входы специальных сигналов [61].

К активной идентификации прибегают при разработке новых технологий на действующих промышленных объектах. Пассивная идентификация применяется для уточнения математической модели [62].

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в трубопроводе системы

топливоподачи испытательного стенда. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. График кривой разгона представлен на рисунке 3.1.

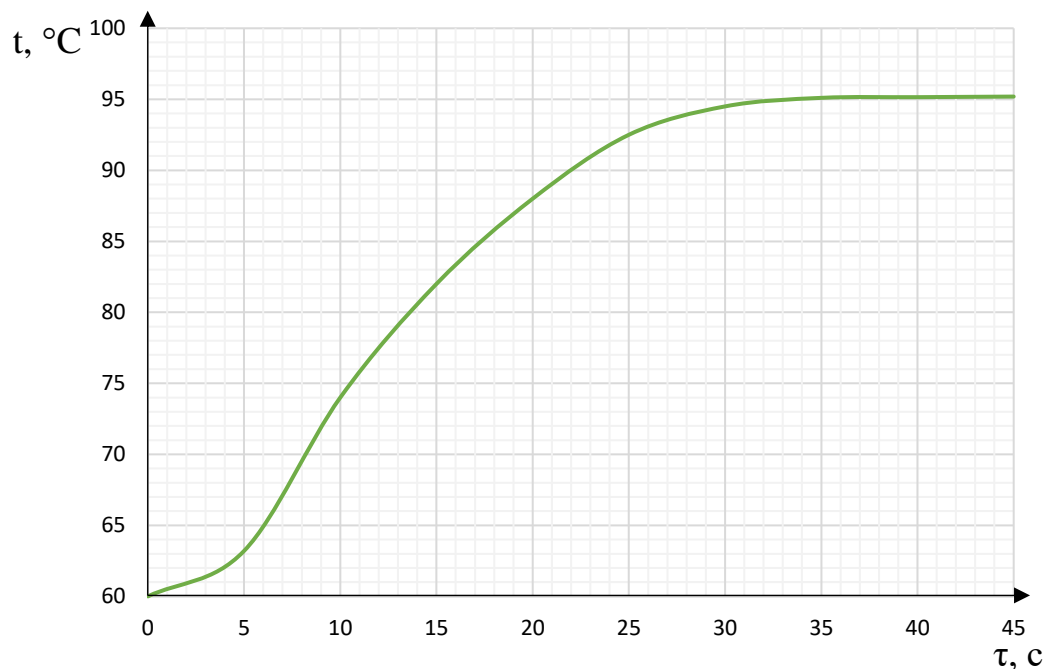


Рисунок 3.1 – Кривая разгона объекта регулирования

На полученной кривой разгона определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени; время запаздывания; коэффициент передачи [61].

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)} \cdot e^{-p\tau}, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент усиления;

T – постоянная времени;

p – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания.

На графике кривой разгона проводится касательная в максимальной точке скорости изменения величины (рисунок 3.2).

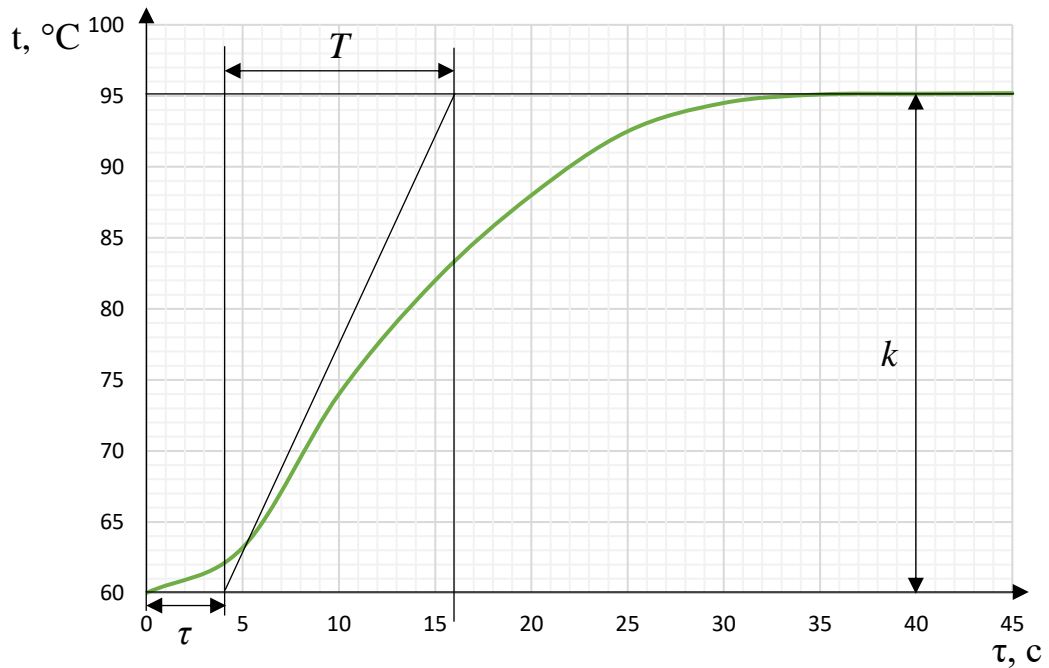


Рисунок 3.2 – Кривая разгона объекта регулирования

По графику определяются динамические параметры объекта:

- коэффициент усиления $k = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- время запаздывания $\tau = 4\text{ с}$;
- постоянная времени $T = 12\text{ с}$.

После подстановки в формулу 3.1 передаточная функция примет вид:

$$W(P) = \frac{35}{(12P + 1)} \cdot e^{-4P}.$$

Структурная схема системы регулирования представлена на рисунке 3.3.

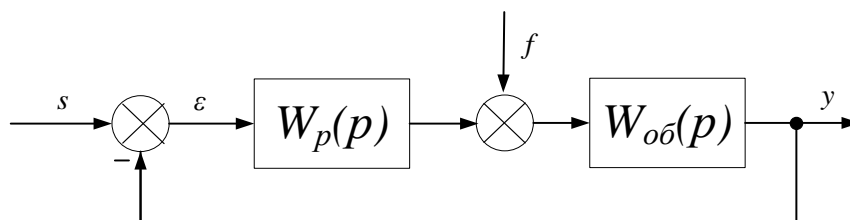


Рисунок 3.3 – Структурная схема системы регулирования

3.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора

Для расчёта АСР с ПИ-регулятором, представленной на рисунке 4, необходимо провести синтез системы автоматического регулирования при $\psi=1$.

Основная идея метода состоит в том, чтобы при $M=1$ выбором параметров системы регулирования максимально расширить в области низких частот горизонтальный участок АЧХ системы. Это соответствует увеличению диапазона пропускаемых частот, а, следовательно, и быстродействию системы регулирования. Математическая формулировка этой идеи может быть представлена так:

$$\frac{d^m A_3(\omega)}{d\omega^m} \Big|_{\omega=0} = 0, \quad m = 1, 2, \dots, z, \quad (3.2)$$

где z – число варьируемых параметров системы (число параметров регулятора).

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W(p) = W_o(p) \cdot W_p(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p\tau}} \cdot k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_H \cdot p} \right), \quad (3.3)$$

где $W_o(P)$ – передаточная функция объекта;

$W_p(P)$ – передаточная функция регулятора.

Преобразуем данную формулу. Получим формулу следующего вида:

$$W(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p\tau}} \cdot \frac{k_1 + k_p \cdot p}{p}, \quad (3.4)$$

где $k_1 = k_p / T_0$.

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$\begin{aligned} W_3(p) &= \frac{W_o(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot p}{(T_0 \cdot p^2 + p) \cdot e^{p\tau} + C_0 + C_1 \cdot p} = \\ &= \frac{B(p)}{A_1(p) + B(p)}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Определим производные от $A_1(p)$ и $B(p)$ по p при $p=0$ и подставим их в следующую формулу для астатической системы регулирования (для $m=1$ и $m=2$):

$$\begin{aligned} &\sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0} = \\ &= \sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot B^{(k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \cdot B^{(2m-k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

В результате получим систему уравнений:

$$\begin{cases} 2 \cdot (T + 1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 2 \cdot k \cdot k_p = 1; \\ (3 \cdot T + 1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 3 \cdot (2 \cdot T + 1) \cdot k \cdot k_p = -3 \cdot T^2, \end{cases}$$

где $T = T_0 / \tau$.

Разрешив систему относительно $\tau \cdot k \cdot k_1$ и $k \cdot k_p$ и подставив в данные формулы известные величины получим:

$$\begin{aligned} 4 \cdot 35 \cdot \frac{k_p}{T_u} &= \frac{6 \cdot 9 + 6 \cdot 3 + 3}{4 \cdot (3 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1)}; \\ 35 \cdot k_p &= \frac{6 \cdot 27 + 6 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1}{4 \cdot (3 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1)}. \end{aligned}$$

Решив данную систему уравнений, получим:

$$T_H = 12,05;$$

$$k_p = 0,0436.$$

Передаточная функция регулятора примет вид:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u \cdot P}\right) = 0,0436 \cdot \left(1 + \frac{1}{12,05 \cdot P}\right).$$

Следующим этапом является оценка качества переходного процесса в замкнутой системе по каналу регулирующего и возмущающего воздействия.

3.3 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия

Передаточная функция системы будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (3.7)$$

где $W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта;

$W_p(P)$ – передаточная функция регулятора.

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы.

Используя вычислительные программные средства, предварительно зададим начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$, после чего рассчитаем вещественную частотную характеристику (ВЧХ) объекта при изменении частоты до $\omega = 0,75 \text{ с}^{-1}$.

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

ω, c^{-1}	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$	ω, c^{-1}	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$	ω, c^{-1}	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$	ω, c^{-1}	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$
0	1	0,2	-0,10352	0,4	-0,4654	0,6	-0,12972
0,02	0,987379	0,22	-0,24904	0,42	-0,42739	0,62	-0,10645
0,04	0,949649	0,24	-0,369	0,44	-0,38847	0,64	-0,08504
0,06	0,886946	0,26	-0,45911	0,46	-0,34992	0,66	-0,06535
0,08	0,799246	0,28	-0,51897	0,48	-0,31254	0,68	-0,04728
0,1	0,686905	0,3	-0,55129	0,5	-0,27687	0,7	-0,03072
0,12	0,55157	0,32	-0,56061	0,52	-0,24318	0,72	-0,01555
0,14	0,397082	0,34	-0,5521	0,54	-0,21161	0,74	-0,00168
0,16	0,230034	0,36	-0,53071	0,56	-0,18221	0,75	-0,12972
0,18	0,059607	0,38	-0,50069	0,58	-0,15494		

По данным таблицы 3.1 выполняется построение графика вещественной частотной характеристики. Полученный график представлен на рисунке 3.4.

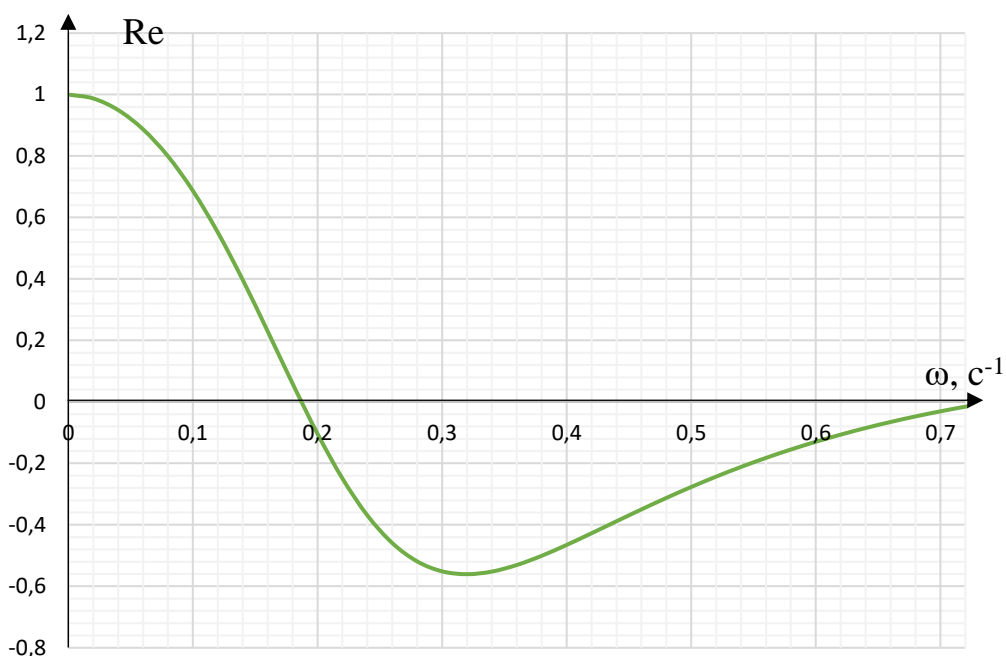


Рисунок 3.4 – График вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega, \quad (3.8)$$

где $\text{Re}(\omega)$ – вещественная частотная характеристика системы;

ω – частота;

t – продолжительность переходного процесса.

Для обеспечения требуемой точности расчета верхним пределом интеграла принимается значение, определенное по рисунку 3.4, при котором значение ВЧХ стремится к 0.

После подстановки уравнение имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,72} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega.$$

На рисунке 3.5 показан переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия.

Под качеством регулирования понимают совокупность показателей или критериев, позволяющих оценить характер отклонения регулируемой величины под действием изменяющихся возмущений и судить о том, насколько система удовлетворяет поставленным требованиям при заданных конкретных ограничениях.

Для определения качества регулирования воспользуемся прямыми оценками качества, определяемыми непосредственно по переходной характеристике.

Используя данные рисунка 3.5, производится оценка качества переходного процесса.

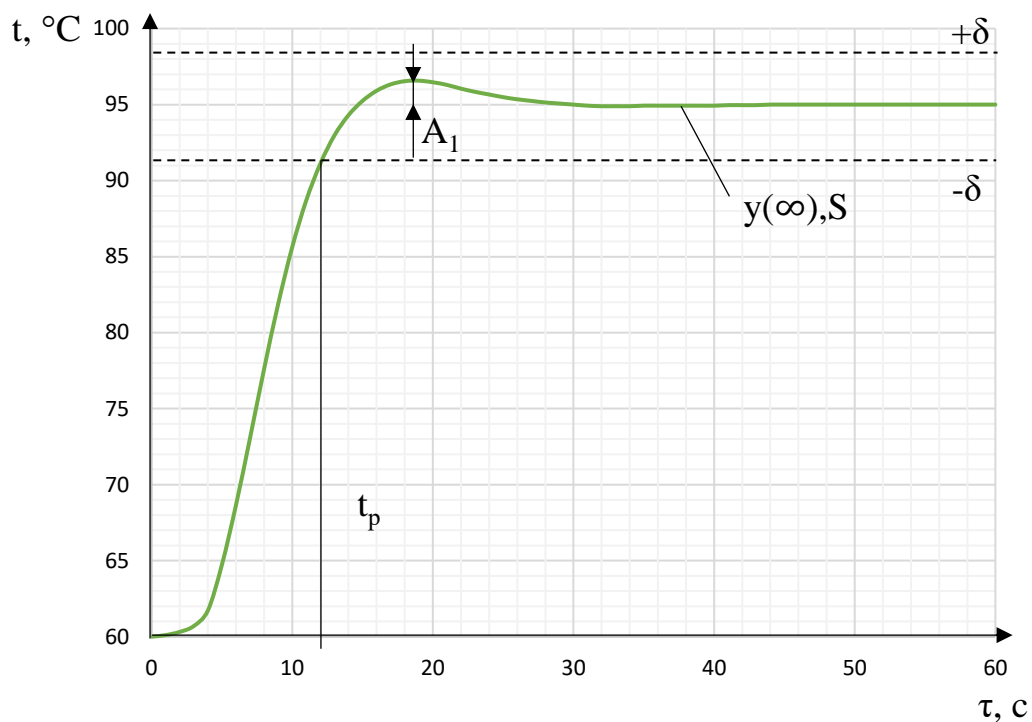


Рисунок 3.5 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Прямые оценки качества [62]:

1.Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{t_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100, \quad (3.9)$$

где t_{\max} – первый максимальный выброс регулируемой величины;

$y(\infty)$ – уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса t .

$$\sigma = \frac{96,54 - 95}{95} \cdot 100 = 1,62 \%$$

2.Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{cm} = S - y(\infty), \quad (3.10)$$

где $S = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$ – сигнал задающего воздействия.

$$\varepsilon_{cm} = 95 - 95 = 0.$$

3. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1}, \quad (3.11)$$

где $A_2 = 0,06$ – второй максимальный выброс регулируемой величины.

$$\psi = 1 - \frac{0}{1,54} = 1.$$

4. Время регулирования при величине $\Delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 4,75$:

$$t_p = 12 \text{ с.}$$

5. Максимальная динамическая ошибка:

$$A_1 = 1,54.$$

3.4 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущения

Передаточная функция замкнутой АСР по каналу f -у для одноконтурной системы регулирования, приведенной на рисунке 3.3, имеет вид:

$$W_{f-y}(p) = \frac{W_o(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)}, \quad (3.12)$$

где $W_o(p)$ – передаточная функция объекта;

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора.

Используя вычислительные программные средства, предварительно зададим начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$,

после чего рассчитаем вещественную частотную характеристику (ВЧХ) объекта при изменении частоты до $\omega = 0,75 \text{ с}^{-1}$.

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{з.с.}(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{з.с.}(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{з.с.}(\omega)$
0	0	0,26	-5,395	0,52	-6,118
0,02	2,074	0,28	-7,755	0,54	-5,427
0,04	6,922	0,3	-9,416	0,56	-4,77
0,06	12,009	0,32	-10,442	0,58	-4,15
0,08	15,686	0,34	-10,936	0,6	-3,567
0,1	17,439	0,36	-11,012	0,62	-3,023
0,12	17,352	0,38	-10,779	0,64	-2,516
0,14	15,714	0,4	-10,328	0,66	-2,045
0,16	12,887	0,42	-9,732	0,68	-1,608
0,18	9,267	0,44	-9,049	0,7	-1,204
0,2	5,268	0,46	-8,321	0,72	-0,831
0,22	1,287	0,48	-7,577	0,74	-0,487
0,24	-2,344	0,5	-6,838	0,76	0

С помощью данных таблицы 3.2 выполняется построение графика ВЧХ системы. Полученный график представлен на рисунке 3.6.

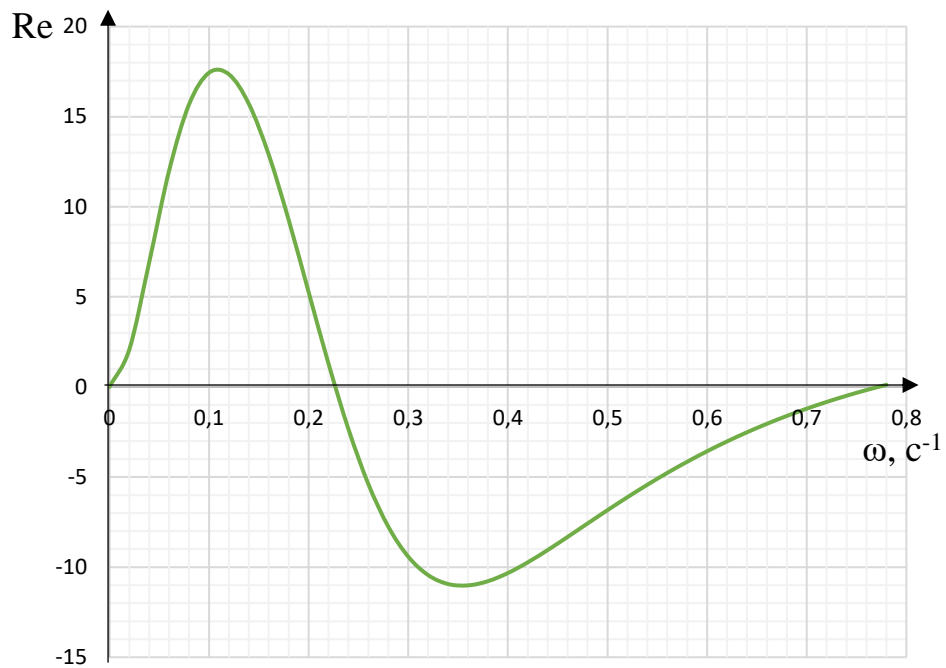


Рисунок 3.6 – График ВЧХ системы

Переходный процесс по каналу возмущения рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,77} \frac{\text{Re}_{3.C.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \quad (3.13)$$

где 0,77 – частота среза, при которой график $\text{Re}(\omega)$ стремится к 0, определяется эта частота из графика ВЧХ (рисунок 3.6).

На рисунке 3.7 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия.

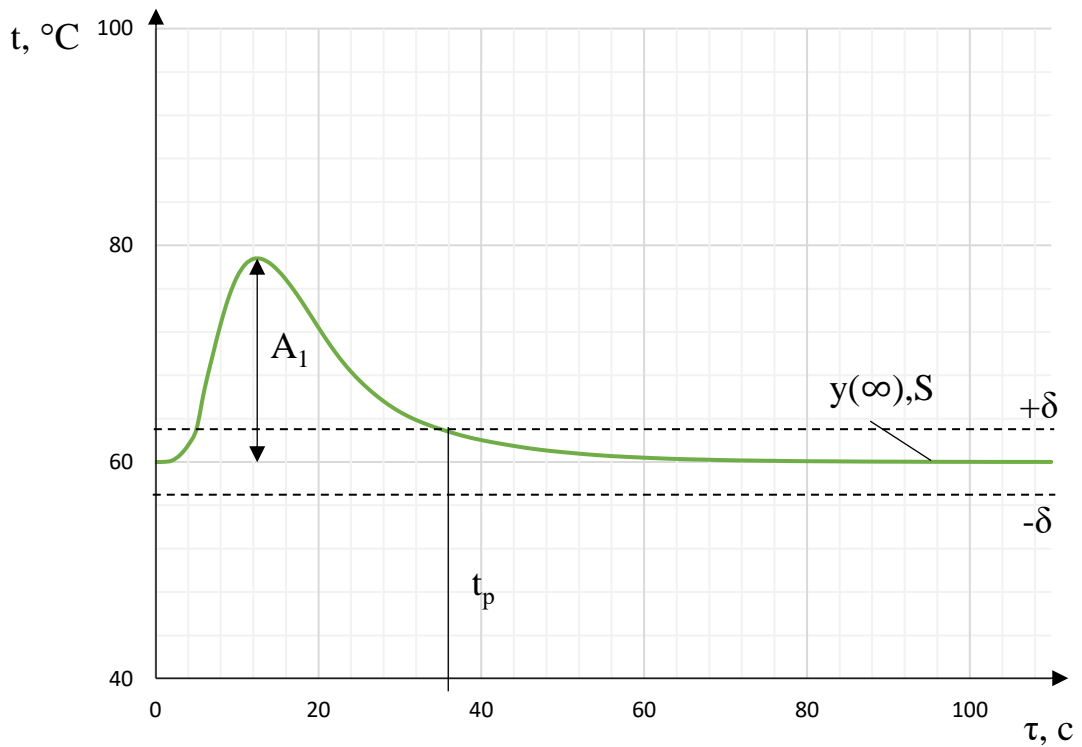


Рисунок 3.7 – График переходного процесса замкнутой АСР по каналу возмущения

Прямые оценки качества [62]:

1. Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0}{18,7} \cdot 100 = 0 \%,$$

где $A_3 = 0$ – второе минимальное отклонение регулируемой величины.

2. Динамический коэффициент регулирования:

$$R_D = \frac{A_1}{k} \cdot 100 = \frac{18,7}{35} \cdot 100 = 53,4 \%,$$

где $k = 35$ – коэффициент передачи объекта.

3. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{18,7} = 1,$$

где $A_2 = 0$ – второй максимальный выброс регулируемой величины.

4. Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{CT} = 0.$$

5. Время регулирования:

$$t_p = 36 \text{ с при величине } \delta = 0,05 \cdot k = 3.$$

6. Максимальная динамическая ошибка:

$$A_I = 18,7.$$

На полученных переходных характеристиках определены динамические характеристики объекта, а также были получены эквивалентные передаточные функции системы по каналу задания и по каналу возмущения. Проведенная оценка качества данных процессов показала, что они удовлетворяют требованиям к запасу устойчивости системы.

4 Разработка мнемосхемы процесса подачи топлива

Основными формами представления информации, обеспечивающими своевременное, достоверное и наглядное отображения всех необходимых технологических данных, являются мнемосхемы – графическое отображение определенных технологических участков с представлением на них состояния технологических параметров и устройств в алфавитно-цифровом и графическом виде.

Отображаемые на мониторе мнемосхемы воспроизводят технологический процесс в реальном масштабе времени.

Мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом. На каждой мнемосхеме отображен свой состав объектов управления и технологических параметров.

Стоит выстраивать мнемосхемы таким образом, чтобы в целом соответствовать логике технологического процесса (для этого при разработке мнемосхем можно ориентироваться на технологическую схему).

Каждая мнемосхема должна:

- давать целостное представление о технологическом процессе или работе отдельного технологического узла;
- позволять осуществлять оперативный контроль над технологическими процессами, позволяет осуществлять запуск/отключение технологического оборудования;
- содержать информацию о текущих измерениях технологических параметров, достижении аналоговыми и дискретными параметрами предельных и аварийных значений, сигнализацию недостоверности и отклонений от нормы в технологическом процессе и работы оборудования, текущее состояние технологического оборудования.

При разработке интерфейса важно исключить неоднозначное использование цвета для индикации событий. Если один цвет будет иметь

несколько значений, то оператор не сможет однозначно воспринять и оценить информацию.

Цвета должны быть легко идентифицируемы и отличны от цвета фона. Число используемых цветов рекомендуется свести к минимуму.

Цвет должен использоваться для привлечения внимания оператора. Яркость цвета и его контраст относительно общей цветовой гаммы мнемосхемы следует применять для индикации возникающих отклонений.

Когда состояние системы полностью соответствует норме, графика процесса не должна это подчеркивать и привлекать внимание оператора, перегружать зрительное восприятие оператора.

Сигналы состояния объекта и оборудования (включен-отключен, открыт-закрыт) должны различаться особенно четко цветом, формой или другими признаками.

Исходя из этих принципов была разработана мнемосхема процесса подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания. В программном обеспечении InfinityNMI создаем объект и добавляем на него необходимые элементы (создаем мнемосхему).

Разработанная мнемосхема приведена на рисунке 4.1

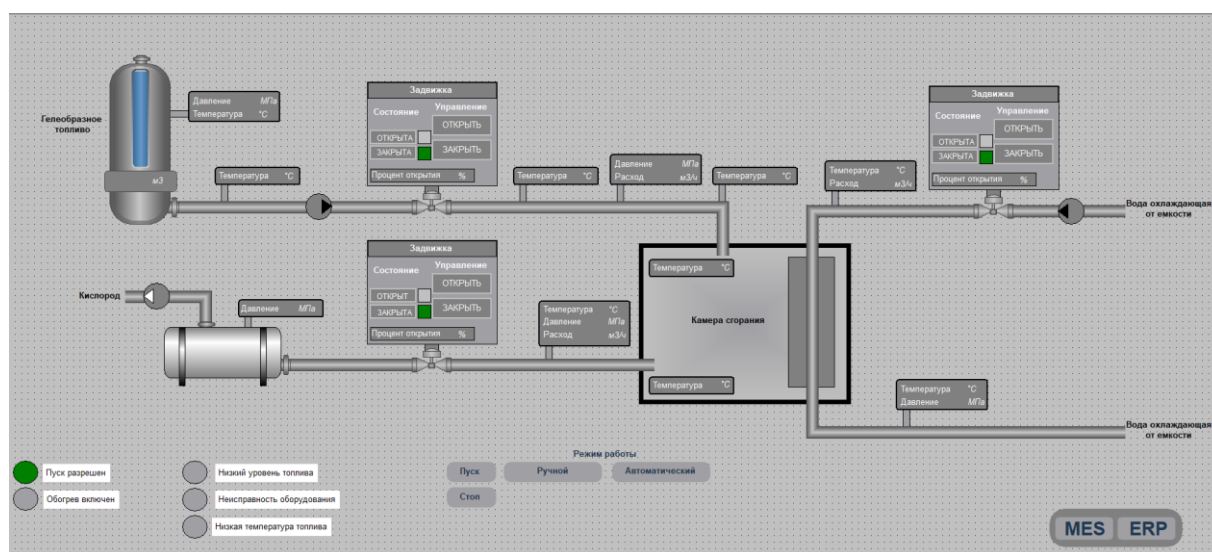


Рисунок 4.1 – Главное окно мнемосхемы

На мнемосхеме серый цвет ламп обозначает отключенное состояние, зеленый – включенное, красный – неисправность оборудования.

В центральной части мнемосхема содержит условное изображение технологического процесса с указанием ключевых параметров. Ниже расположены элементы управления технологическим процессом (выбор режима работы, пуск и останов процесса). В левом нижнем углу расположена панель сигнальных ламп.

Кроме ламп на схеме используется индикация на самом объекте. Зеленый цвет насоса, компрессора или нагревателей означает, что оборудование запущено, серое – остановлено. Вся сигнальная аппаратура связана с соответствующей переменной, значение которой определяет цвет индикатора.

Произведем проверку работоспособности программного обеспечения. Для этого запустим нашу программу в InfinityНМІ и запустим эмуляцию проекта. Произведем тестирование программы в ручном режиме для этого на панели «Режим работы» нажмем кнопку «Ручной», после этого выполним пуск испытательной установки. Об успешном запуске оборудования будут сигнализировать зеленые лампы индикации, а также зеленая подсветка оборудования на мнемосхеме (рис. 4.2).

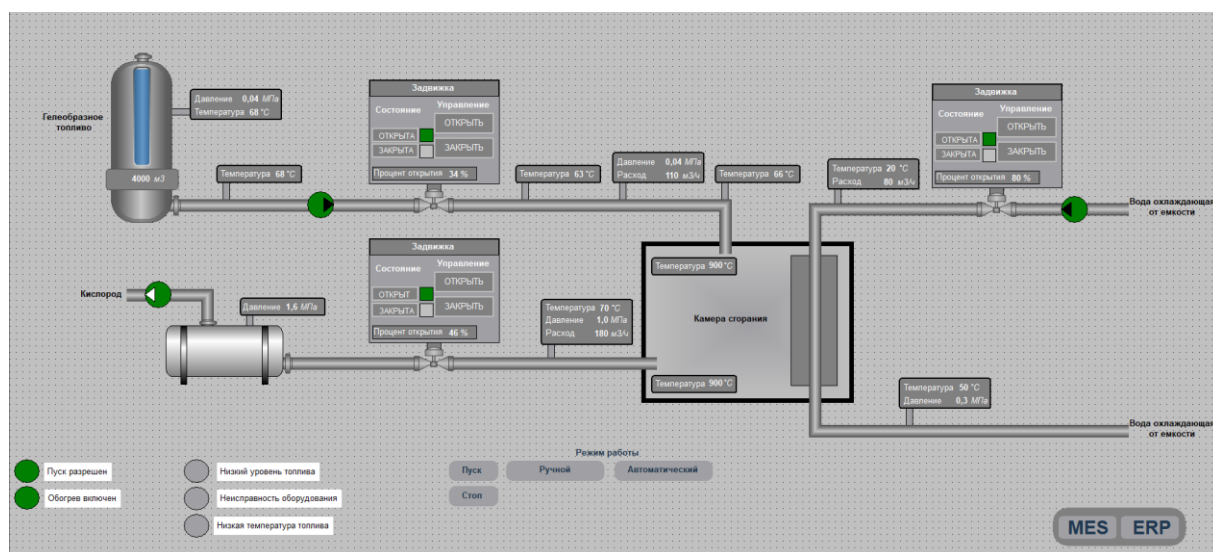


Рисунок 4.2 – Тестирование главного окна мнемосхемы в ручном режиме

На рисунке 4.3 приведен снимок экрана мнемосхемы во время поломки оборудования. Произошло заклинивание регулирующего клапана на магистрали подачи окислителя, а также останов насоса подачи охлаждающей воды. Неисправное оборудование подсвечено красным цветом, дополнительно информация о поломке оборудования отображается в области сигнализирующих ламп.

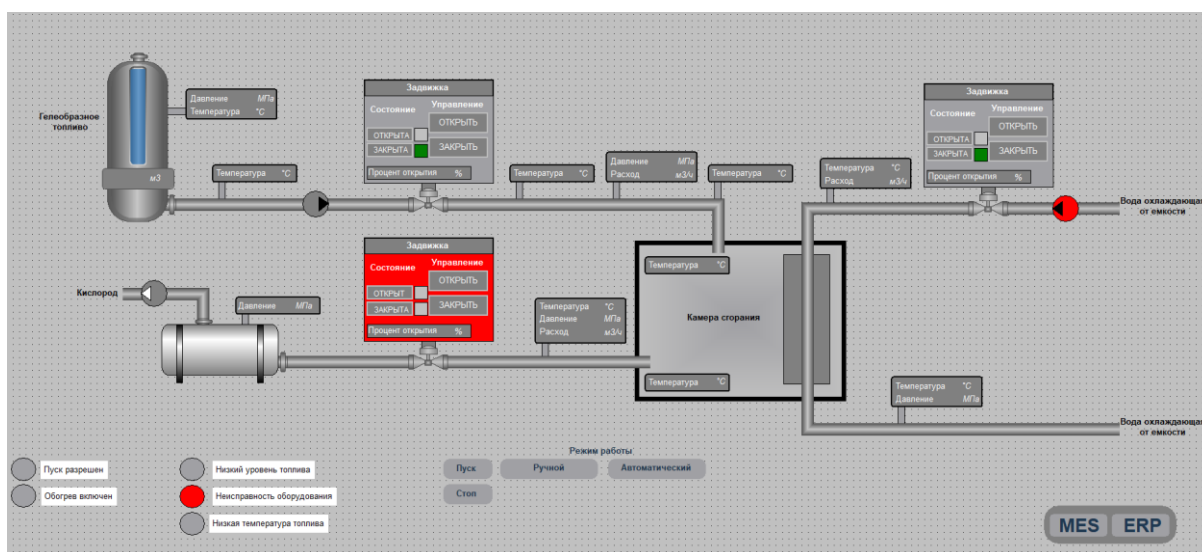


Рисунок 4.3 – представление мнемосхемы процесса во время поломки оборудования

Анализируя рисунки 4.2, 4.3 можно судить об успешной работе системы с использованием программного обеспечения InfinityNMI.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ03	Сидорову Денису Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклады в соответствии с окладами сотрудников ТПУ. Общий бюджет проекта - не более 1,5 млн. руб., в том числе ФОТ - не более 500 тыс. руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,1 баллов из 5.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды (30,2%).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Анализ конкурентных технических решений; 2. FAST-анализ; 3. Планирование работ и оценка их выполнения.
2. Разработка устава научно-технического проекта	1. Смета затрат на проект.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Смета затрат на оборудование; 2. Определение трудоемкости выполнения работ.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1. Определение ресурсной эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Анализ конкурентных технических решений;
2. Диаграмма FAST;
3. График проведения НТИ;
4. Бюджет затрат НТИ;
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Сидоров Денис Сергеевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках настоящей магистерской диссертации разрабатывается автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания. Внедрение АСУ ТП позволит минимизировать расход топлива (при этом повысить эффективность), повысить энергетические характеристики процесса горения, за счет обеспечения качественной пропорции топлив-воздух, обеспечить экологическую и производственную безопасность, продлить срок службы оборудования, обеспечить безопасность персонала и т.п.

Цель работы заключается в расчете экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления технологическим процессом подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующий ряд задач:

- определить перечень работ и осуществить оценку времени их выполнения;
- составить смету затрат на реализацию проекта;
- вычислить разовые капитальные вложения на приобретение технических средств автоматизации, монтаж и их наладку;
- определить экономический эффект от внедрения данной системы.

В рамках данного проекта разрабатываемая система должна соответствовать высоким показателям ресурсоэффективности по основным критериям (безопасность, надежность, удобство эксплуатации, помехоустойчивость, энергосбережение). Интегральный критерий ресурсоэффективности должен быть не ниже 4,1. Максимальный бюджет проекта не должен превышать 1500000 рублей.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Под целевым рынком понимают сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может требоваться определенный товар (услуга). Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция и др.

Предположим, потенциальными потребителями результатов данной разработки являются коммерческие организации теплоэнергетических отраслей. Сегментируем рынок по следующим критериям: размер организации-заказчика и эффект внедрения разработки. На основании этих критериев построим карту сегментирования (таблица 5.1).

Карта сегментирования рынка представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

		Эффект от внедрения		
		Увеличение производительности	Сокращение затрат на топливо	Снижение количества вредных выбросов
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Таким образом по приведенной карте сегментирования можно сделать вывод о том, что основными потребителями являются средние

теплоэнергетические компании, для которых перевод котловых агрегатов с традиционного топлива на гелеобразное показывает наиболее выгодный эффект.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Разработка и проектирование любой автоматизированной системы предполагает, кроме составления проекта, анализ конкурентных технических решений. По своим основным целям проектирования варианты автоматизированных систем разных производителей схожи, но по техническим и экономическим критериям они будут различаться. Каждый производитель придерживается своих (наиболее важных) требований при разработке автоматизированных систем. Так, например, одни производители акцентируют внимание на безопасности, надежности, а другие на дешевизне. Примерами конкурирующих производителей автоматизированных систем являются ООО "Цифровые Контрольные Технологии" (индекс «к1», см. таблицу 5.2) и ООО «ГРИН ЭФФЕКТ» (индекс «к2», см. таблицу 5.2).

В ходе проведения анализа конкурентоспособности технических решений важным является выделение критериев оценки автоматизированных систем (сильные и слабые стороны). Данный анализ производится с помощью оценочной карты, представленной в таблице 1.1. Точка зрения конкурентов и разработки оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале (1 – наиболее слабая позиция, 5 – наиболее сильная). Веса показателей в сумме составляют 1.

Конкурентоспособность научной разработки рассчитывается с использованием следующей формулы:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки; B_i – вес показателя измеряется в долях единицы; B_i – балл i -го показателя.

Результаты анализа конкурентных технических решений представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
2. Помехоустойчивость	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
3. Простота эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость	0,25	5	3	4	1,25	0,75	1
2. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
3. Срок выхода на рынок	0,05	3	4	5	0,15	0,2	0,25
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1				4,25	4,2	4,05

Анализ конкурентных технических решений показывает, что наиболее перспективным по техническим и экономическим критериям является реализация собственной разработки автоматизированной системы. Благодаря анализу можно увидеть соответствие сильных и слабых сторон различных производителей. Такой анализ необходимо осуществлять постоянно, поскольку в условиях рыночной экономики все постоянно происходят перемены. Также, выполнение конкурентного анализа помогает вносить коррективы в научные исследования, чтобы поддерживать конкурентоспособность своего товара на рынке.

5.3 FAST-анализ

FAST-анализ представляет собой один из наиболее простых и распространенных инструментов анализа и классификации функций. Этот метод базируется на том, что затраты, которые связаны с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций. Далее будут описаны 6 стадий, из которых состоит FAST-анализ.

5.3.1 Выбор объекта FAST-анализа

В данной работе в качестве объекта FAST-анализа выступает автоматизированная система подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания испытательной установки. Внедрение данной системы позволит минимизировать расход топлива, обеспечить процесс качественного смесеобразования, повысить энергетические характеристики процесса горения, обеспечить экологическую и производственную безопасность, сохранить целостность оборудования, обеспечить безопасность персонала.

5.3.2 Описание функций объекта

В данном разделе объект анализируется с позиции функционального устройства. Определяются главные, основные и вспомогательные функции. Главная функция объекта представляет собой внешнюю функцию, определяющую назначение, сущность и главную цель создания объекта в целом. Основные и вспомогательные функции отражают внутренние функции объекта. Классификация функций, выполняемых объектом исследования представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование	Выполняемые функции	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательная
1. Автоматизированная система	Обеспечивает эффективное управление системой топливоподачи	+		
2. Программные средства	Позволяет выполнить программы и задачи		+	
3. Аппаратные средства	Обеспечивает режим автоматического управления		+	
4. Персонал	Обеспечивает режим ручного управления		+	
5. SCADA-система	Обеспечивает визуализацию технологического процесса			+
6. Организационные мероприятия	Обеспечивают внедрение системы, а также контроль ведения технологического процесса			+

5.3.3 Определение значимости выполняемых объектом функций

В рамках данного раздела для оценки значимости функций воспользуемся методом расстановки приоритетов. В основе данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

На первом этапе строим матрицу смежности функций (таблица 5.4). Функции определены согласно таблице 5.3 в порядке упоминания.

Таблица 5.4 – Матрица смежности функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6
Функция 1	=	>	>	>	>	>
Функция 2	<	=	=	=	>	>
Функция 3	<	=	=	=	>	>
Функция 4	<	=	=	=	>	>
Функция 5	<	<	<	<	=	>
Функция 6	<	<	<	<	<	=

Далее преобразуем матрицу смежности (таблица 5.4) в матрицу количественных соотношений функций (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	Итого
Функция 1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	8,5
Функция 2	0,5	1	1	1	1,5	1,5	6,5
Функция 3	0,5	1	1	1	1,5	1,5	6,5
Функция 4	0,5	1	1	1	1,5	1,5	6,5
Функция 5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	4,5
Функция 6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3,5
Сумма							36

Далее определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Относительная значимость функций

Функция	Относительная значимость
1. Автоматизированная система	0,24
2. Программные средства	0,18
3. Аппаратные средства	0,18
4. Персонал	0,18
5. SCADA-система	0,13
6. Организационные мероприятия	0,09

5.3.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

В рамках данного раздела с использованием специальных методов определяем уровень затрат на выполнение каждой функции. Сделаем это с использованием нормативного метода. Соответствующие расчеты функций приведены в таблице 5.7. Данная информация приведена с учетом средних затрат на выполнения функций 1–6.

Таблица 5.7 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование функции	Стоимость оборудования, тыс. руб.	Зарботная плата, тыс. руб.	Себестоимость, тыс. руб.
Функция 1	650	200	850
Функция 2	250	-	250
Функция 3	300	-	300
Функция 4	30	200	230
Функция 5	75	10	85
Функция 6	30	25	55

5.3.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Собранная информация об объекте в рамках предыдущих пунктов в данном разделе обобщается в виде функционально стоимостной диаграммы (рисунок 5.1). Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них.

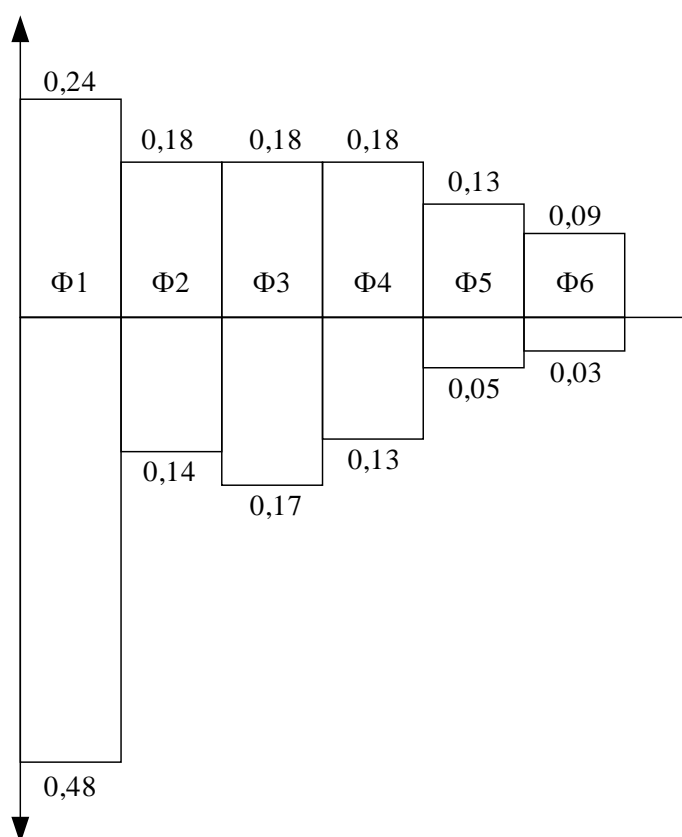


Рисунок 5.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

В результате анализа полученной диаграммы (рисунок 5.1) видно, что рассогласования между затратами и значимостью каждой функции не обнаружено, следовательно, проведение работ по ликвидации диспропорций не требуется.

5.3.6 Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве действий по оптимизации функций, выполняемых объектом, можно выполнить следующее: оптимизировать параметры надежности и безопасности; использовать наиболее высокотехнологичное оборудование в автоматизированной системе для улучшения ее показателей; минимизировать ошибки персонала путем использования микропроцессорных устройств во всем технологическом процессе.

5.4 Планирование научно-исследовательской работы

В рамках данного раздела необходимо выполнить следующие действия: определить порядок работ в рамках исследования; определить исполнителей каждой работы; установить продолжительность всех работ; построить календарный план-график проведения НИИ.

Формируется группа для выполнения работ, состоящая из научного руководителя проекта (НР) и инженера (И). Составим таблицу, содержащую перечень работ, основных исполнителей, продолжительность выполнения работ (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей при разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом горения гелеобразного топлива

Содержание работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях
1. Составление технического задания проекта	НР, И	3
2. Календарное планирование работ	НР, И	3
3. Обзор научной литературы	И	6
4. Экспериментальные исследования	И	35

Продолжение таблицы 5.8

5. Анализ объекта автоматизации	И	5
6. Проектирование АСУ ТП	И	20
7. Разработка схем	И	15
8. Написание дополнительных разделов ВКР	И	15
9. Оформление итоговых материалов ВКР	И	5
10. Подготовка презентации	И	6
11. Согласование результатов	НР, И	4
Итого	НР	10
	И	117

Таким образом, согласно таблице 5.8 работа состоит из 11 основных этапов. Основная часть всех работ реализуется инженером. Решение совокупности всех работ позволит реализовать проект. По данным таблицы 5.8 построен календарный план-графике проведения НТИ в виде диаграммы Ганта (таблица 5.9). На основании полученной диаграммы видно, что работы начинаются с 3 декады февраля и заканчиваются в начале второй декады июня.

Таблица 5.9 – Календарный план-график проведения НТИ

№	Вид работ	T_{ki} , кален д. дн.	Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь	
			3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление технического задания проекта	3	■											
2	Календарное планирование работ	3	■	■										
3	Обзор научной литературы	6	■	■	■									
4	Экспериментальные исследования	35		■	■	■	■	■	■					
5	Анализ объекта автоматизации	5		■	■	■	■	■						
6	Проектирование АСУ ТП	20					■	■	■	■				
7	Разработка схем	15					■	■	■	■	■			
8	Написание дополнительных разделов ВКР	15								■	■	■	■	
9	Оформление итоговых материалов ВКР	5									■	■	■	
10	Подготовка презентации	6											■	■
11	Согласование результатов	4											■	■

НР – ■; И – ■.

5.5 Бюджет научно-технического исследования

Размер затрат НТИ является основой для определения бюджета данного проекта, который при составлении договора с заказчиком защищается научной организацией в виде нижнего предела затрат на создание научно-технической продукции.

Для формирования затрат исследования используются следующие виды затрат: материальные затраты НТИ; накладные расходы; основная заработная плата участников исследования; дополнительная заработная плата участников исследования; отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); амортизация.

5.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

К материальным затратам научно-технического исследования относятся: канцелярские принадлежности, покупные материалы и т.п. (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм-я	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Бумага для принтера	пачка	2	1200	2400
Ручки	шт.	4	75	300
Карандаши	шт.	4	15	60
Мультифоры	шт.	10	3	30
Картридж для принтера	шт.	1	900	900
Итого				3690

Итоговые затраты согласно таблице 5.10 составили 3690 рублей. Цены на все товары взяты средние по г. Томску.

5.5.2 Амортизация

Осуществим расчет амортизации отчислений. При разработке автоматизированной системы управления используется компьютерная техника, имеющая срок службы, и, как следствие, существует необходимость учета затрат на ее износ.

Затраты на амортизацию рассчитываются по формуле:

$$Z_{амор} = \frac{H_a \cdot Ц_{об} \cdot t_{исп} \cdot n}{F_0}, \quad (5.2)$$

где H_a – годовая норма амортизации единицы оборудования; $Ц_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом транспортно-заготовительных расходов, руб.; $t_{исп}$ – фактическое время использования единицы оборудования, ч.; n – число задействованных однотипных единиц оборудования; F_0 – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования (для шестидневной рабочей недели 2408 часов), ч.

$$Z_{амор} = \frac{0,4 \cdot 92000 \cdot 654 \cdot 1}{2408} = 9994,7 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма амортизации составила 9994,7 рублей.

5.5.3 Заработная плата исполнителей

Под заработной платой понимается оплата труда всех участников исследования: инженера и научного руководителя). Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Затраты на заработную плату рассчитываются по формуле:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.3)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \cdot (1 + K_{np} + K_{\delta}) \cdot K_p, \quad (5.4)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни; K_{np} – премиальный коэффициент; K_{δ} – коэффициент доплат и надбавок; K_p – районный коэффициент (равен 1,3 для г. Томска);

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\delta}}, \quad (5.5)$$

где Z_m – оклад работника за месяц, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя и при отпуске в 48 рабочих дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя; F_{δ} – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Далее в таблице 5.11 представлен баланс рабочего времени для шестидневной рабочей недели.

Таблица 5.11 – Баланс рабочего времени (для шестидневной рабочей недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	233

Рассчитаем среднедневную заработную плату для инженера и научного руководителя, данные внесем в таблицу 5.12:

$$Z_{\text{дн.ин}} = \frac{24157 \cdot 10,4}{233} = 1078 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн.пр}} = \frac{42900 \cdot 10,4}{233} = 1914 \text{ руб.}$$

Таблица 5.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{р}}$	$T_{\text{р}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Инженер	1078	0,3	0,4	1,3	106	252532
Научный руководитель	1914	0,3	0,4	1,3	10	42299
Итого						294831

Дополнительная заработная плата исполнителей определяется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (5.6)$$

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

Результаты расчетов дополнительной заработной платы внесем в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Научный руководитель	5499
Инженер	32829
Итого	38328

Таким образом, суммарная надбавка к основной заработной плате руководителя и инженера составила 38328 рублей.

5.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30,2 %.

Результаты расчетов отчислений во внебюджетные фонды внесем в таблицу 5.14.

Таблица 5.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{внеб}$, руб.
Научный руководитель	14434
Инженер	86179
Итого	100613

Сумма отчислений во внебюджетные фонды составила 100613 рублей.

5.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (Z_{мат} + Z_{амор} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}); \quad (5.8)$$

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (3690 + 9994,7 + 294831 + 38328 + 100613) = 71593,07 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составили 71593,07 рубля.

5.5.6 Смета затрат на оборудование

Смета составляется как на приобретение технологического оборудования, так и на строительные-монтажные работы. В таблице 5.15 представлена смета затрат на оборудование.

Таблица 5.15 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом 4...20мА ТСМУ-205	9	10134	91212
Датчик избыточного давления МИДА-ДИ-13П-ОМ20	5	5064	25320
Диафрагма камерная фланцевая ДФК Элемер	3	2805	8416
Преобразователь дифференциального давления OPTIBAR DP	3	44352	133056
Уровнемер радиоволновой NivoRadar 3000	1	59900	59900
ПЛК ЭЛСИ-ТМК с набором всех необходимых модулей	1	130500	130500
Исполнительный механизм МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б)	3	22752	68256
Итого			516660

Стоимость оборудования составила $Z_{об} = 516660$ рублей.

Капитальные вложения в монтаж рассчитываются как 20 % от вложений в оборудование:

$$Z_{монт} = 0,2 \cdot Z_{об}; \quad (5.9)$$

$$Z_{монт} = 0,2 \cdot 516660 = 103332 \text{ рубля.}$$

Затраты на покупку оборудования и его монтаж составят:

$$Z_{м.об.} = Z_{об} + Z_{монт}; \quad (5.10)$$

$$Z_{м.об.} = 516660 + 103332 = 619992 \text{ рубля.}$$

Таким образом, суммарные затраты на покупку и монтаж оборудования испытательного стенда составили 619992 рубля.

5.5.7 Формирование затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком зачитывается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Данные бюджета затрат приведены в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Бюджет затрат

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты НТИ	3690	0,32
Затраты на амортизацию	9994,7	0,88
Затраты на основную заработную плату	294831	25,88
Затраты на дополнительную заработную плату	38328	3,39
Страховые взносы	100613	8,83
Накладные расходы	71593,7	6,28
Затраты на оборудование	619992	54,42
Общий бюджет	1139312,4	100

Анализируя таблицу 5.16, можно сделать вывод, что наибольший процент затрат приходится на закупку и монтаж оборудования и составляет 54,42 %. Бюджет всех затрат составил 1139312,4 рублей.

5.6 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научной работы определяется с использованием интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.11)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Результаты расчетов интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Безопасность	0,3	5
Надежность	0,3	4
Удобство эксплуатации	0,2	4
Помехоустойчивость	0,1	5
Энергосбережение	0,1	3
Итого	1	4,2

5.7 Вывод по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи: составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения; составлена смета затрат на проект; составлена смета затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта; определена ресурсоэффективность проекта.

Анализ затрат на разработку позволяет сделать вывод, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе являются затраты на оборудование, составившие 619992 рубля, далее затраты на заработную плату – 333159 рублей. Меньше всего средств уходит на материальные затраты НИИ – 3690 рублей. Общий бюджет разработки составил 1139312,4 рублей, при этом, продолжительность работы составляет 106 дней. Интегральный критерий ресурсоэффективности имеет высокий показатель (4,2 из 5), что говорит об эффективности проекта.

Внедрение автоматизированной системы подачи типичного гелеобразного топлива позволит увеличить срок службы системы, повысить ее безопасность, надежность. Также за счет оптимизации процессов подачи топлива понизятся производственные издержки.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ03	Сидорову Денису Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСУ ТП подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования и области его применения. – Описание рабочей зоны при разработке проектного решения 	<p>Объектом исследования является испытательный установка. Областью применения данной установки является изучения процессов зажигания и горения гелеобразных топлив. Рабочая зона располагается в производственном помещении. Размеры помещения (ДхШхВ): 6000х3100х2500 мм. Оборудование рабочей зоны представлено персональным компьютером, многофункциональным устройством, монитором технологического процесса.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Отражены правовые нормы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.0.004-2015; – Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013 года) – ТК РФ № 197-ФЗ; – Конституция РФ.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов.</p> <p>2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований</p> <p>2.3 Расчет вредного производственного фактора</p> <p>2.4 Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Выявлены вредные и опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны (произведен расчет вредного производственного фактора) – отклонение параметров микроклимата – повышенный уровень шума – повышенный уровень вибрации; – поражение электрическим током; – повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; – движущиеся части машин и механизмов.
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</p>	<p>Потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие выбросов в атмосферу продуктов процесса горения компонентов топлива.</p>

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	Указаны возможные ЧС, а также меры по предупреждению и оповещению о случившемся ЧС.	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2022	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, ООД	Сечин Александр Иванович	Д.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Сидоров Денис Сергеевич		

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность предприятия – это уровень добровольного отклика на социальные потребности работников, лежащие вне определяемых законом или регулируемыми органами требований, это действия, предпринимаемые во благо общества добровольно [39].

6.1 Введение

Выпускная квалификационная работа направлена на изучение деформационных свойств и текучести типичных гелеобразных топлив, а также, процессов, протекающих при транспортировке таких топлив по трубопроводам, способов регулирования расхода и разработки, соответствующей автоматизированной системы управления.

Рабочая зона представлена помещением операторной, где располагается инженер-оператор. В комнате оператора располагаются персональный компьютер, многофункциональное устройство, телефон, а также, панель визуализации технологического процесса.

Основная задача работы – разработка системы автоматизированного управления подачей гелеобразного топлива в камеру сгорания испытательной установки. В данном разделе, будут отмечены все основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе разработки данного проекта.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основным источником экологического неблагополучия являются аварии и катастрофы, сопровождающиеся выбросами и сбросами загрязняющих химических, радиоактивных, биологических веществ и материалов в окружающую среду, а также различные природные процессы и

явления – наводнения, ураганы, бури, тайфуны, смерчи, сильные, особо длительные, дожди, землетрясения, оползни, обвалы и др.

Основой правового законодательства является Конституция, т. е., законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей. Существуют принятые нормы в области охраны труда: на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат производственной деятельности предприятия; единые нормативные требования по охране труда; защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве. Действующим нормативом по охране труда является Система стандартов безопасности труда (ССБТ) – ГОСТ 12.0.004-2015 [40].

6.2.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Охрана труда – это система или комплекс мероприятий, направленных на защиту здоровья, а также, создание безопасных условий для работника в процессе его трудовой деятельности.

Условия труда – это совокупность факторов трудового процесса и производственной (рабочей) среды, которые способны оказать влияние на работоспособность и здоровье человека.

Требования охраны труда – государственные нормативные требования охраны труда, в том числе стандарты безопасности труда, а также требования охраны труда, установленные правилами и инструкциями по охране труда (часть десятая введена Федеральным законом от 30.06.2006 N 90-ФЗ) (в ред. Федерального закона от 24.07.2009 N 206-ФЗ).

Профессиональный риск – это вероятность причинения вреда здоровью работника, связанная с влиянием вредных или опасных производственных факторов во время исполнения трудовых обязанностей по контракту или иных обстоятельств, установленных Трудовым Кодексом и/или другими законами. Кроме этого, необходимость управления профессиональными рисками

установлена статьей 209 ТК, которой определено, что порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда. (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ). 76

Немаловажным является соблюдение временного режима работы персонала при проведении экспериментов на испытательной установке. Время проведения экспериментов не должно превышать 4 часов. В противном случае проявляется снижение внимательности и эффективности труда персонала.

Средства индивидуальной и коллективной защиты работников – это средства, необходимые для предохранения от загрязнений, предотвращения отрицательного воздействия производственных факторов на работающих.

Помимо соблюдения временного режима работы, необходимо соблюдение техники безопасности при работе с компонентами типичных гелеобразных топлив, а именно, ношение индивидуальных и коллективных средств защиты.

6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место. Рабочее место – это зона нахождения работника и средств приложения его труда, которая определяется на основе технических и эргономических нормативов и оснащается техническими и прочими средствами, необходимыми для исполнения работником поставленной перед ним конкретной задачи.

При проектировании испытательной установки нужно руководствоваться техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений, а при планировке рабочего пространства работника – ТК РФ и другими документами.

Одними из важнейших требований при организации рабочего места являются обеспечение безопасных, комфортных условий для работы, пресечение возникновения профессиональных заболеваний и несчастных случаев.

Помимо прочего необходимо учитывать следующее:

1) проход справа, спереди и слева от стола должен составлять не менее 500 мм;

2) расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров знаков и символов;

3) окраска дизайна ПК должна быть выполнена в спокойных мягких тонах;

4) корпус ПК, клавиатура, устройства и другие блоки рабочего места должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики;

5) конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;

6) все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

6.3 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

К работе с экспериментальным стендом допускаются лица, обученные правилам техники безопасности и изучившие Руководство по эксплуатации.

При проведении исследований и дальнейшей разработки проектируемого решения согласно ГОСТ 12.0.003-2015, в таблице 6.1 приведен перечень возможных опасных и вредных факторов.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.03.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Отклонение показаний микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Превышение уровня шума		+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
3. Повышенный уровень вибрации		+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. Недостаточная освещенность рабочего места.	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
6. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов		+	ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий.
7. Движущиеся части машин и механизмов		+	ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация

Продолжение таблицы 6.1

8. Вещества, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека		+	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
---	--	---	--

6.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Промышленные объекты, используемые для сжигания топлив, представляют опасность для окружающей среды, так же, как и любые другие объекты тепловой и энергетической промышленности.

Опасным фактором таких производств являются: взрывоопасные компоненты гелеобразных топлив, работа агрегатов при давлении выше атмосферного, возможность разрушения испытательной установки. Так же немаловажным фактором является токсичность компонентов топлива. Поэтому в помещении, где хранятся и смешиваются компоненты гелеобразных топлив необходима вентиляция. Для защиты от воздействия химических компонентов, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда. Из-за работы насосов и компрессора испытательной установки в производственном помещении создаётся шум, что также негативно влияет на организм человека и окружающую среду.

6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований

Отклонение параметров микроклимата

Находясь на рабочем месте в производственном помещении операторной, инженер подвержен влиянию определённых метеоусловий, или микроклимату рабочих помещений. Окружающая среда влияет на состояние организма. Основными параметрами производственного микроклимата являются действующими на организм человека температура окружающей

среды, влажность и скорость потока воздуха, а также температура окружающих поверхностей [41].

Работа оператора за ПК относится к классу легких работ. Для данного типа работ допустимые величины микроклиматы должны обеспечиваться при следующих условиях:

- перепад температуры воздуха должен быть не более 3...3,5 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 3,5...4 °С.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать данным таблицы 6.2:

Таблица 6.2 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодное	21...23	60...40	менее 0,1
Теплое	22...24	60...40	менее 0,1

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров на рабочем месте используются системы вентиляции и отопления.

Повышенный уровень шума

Шум – беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

Электрические машины создают шумы с различными уровнями звука от 20 дБ (микромашин) до 110 дБ (крупные быстроходные машины) [42].

При работе различных механизмов, агрегатов, оборудования одновременно могут возникать шумы различной природы.

Одним из методов уменьшения воздействия шума на объектах энергетического производства является снижение или ослабление шума в его источниках – насосы, компрессоры, задвижки.

ГОСТ 12.1.003-2014 устанавливает классификацию шума, характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах, общие требования к защите от шума на рабочих местах, шумовым характеристикам машин, механизмов, средств транспорта и другого оборудования и измерениям шума. В таблице 6.3 представлены допустимые уровни шума.

Таблица 6.3 – Допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-2014)

Рабочие места	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука по дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ОРУ	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение – получение, распределение и использование световой энергии для обеспечения благоприятных условий видения предметов и объектов. Оно влияет на настроение и самочувствие, определяет эффективность труда.

Рациональное освещение помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий создания благоприятных и безопасных условий труда.

Освещение должно быть таким, чтобы работающие могли без напряжения зрения выполнять свою работу. Неудовлетворительное освещение может исказить информацию: кроме того, оно не только утомляет зрение, но вызывает также утомление всего организма в целом. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы. Рабочее

освещение включает в себя общее стационарное, ремонтное и местное освещение. Охранное освещение предусматривается по периметру. Ремонтное освещение необходимо выполнять от понижающего трансформатора 12-42 В [43].

Поражение электрическим током

В помещении с большим количеством аппаратуры, использующей, как однофазный электрический ток, промышленной частоты напряжением 220 В так и трехфазный с частотой 380 В, есть вероятность поражения током. Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения током практически минимальна, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое закорачивание частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Повышенный уровень вибрации

Для уменьшения воздействия вибраций на организм человека необходимо также проводить ряд мероприятий. В проектируемой системе топливоподачи имеются следующие источники вибраций: промышленный насос, компрессор исполнительные механизмы задвижек, установленные в помещении с временным пребыванием персонала.

Интенсивность вибраций деталей агрегатов (корпуса агрегатов, кожухов, крышек и т. п.) согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ, следует уменьшать путем:

- облицовки этих поверхностей или заполнения специально предусмотренных в них воздушных полостей демпфирующими вибрацию материалами;
- устройства гибких связей (упругих прокладок, пружин) между этими деталями и узлами агрегата, вызывающих вибрации;

- замены металлических деталей деталями из пластмасс или других незвучных материалов;
- установления минимальных допусков при изготовлении и сборке деталей агрегата для уменьшения зазоров в сочленениях деталей и тем самым уменьшения энергии соударений;
- широкого внедрения смазки соударяющихся деталей вязкими жидкостями и помещения в жидкостные масляные и другие ванны вибрирующих и издающих шум деталей (шестеренчатых редукторов и т. п.);
- заключения в изолирующие кожухи шумных узлов агрегата (шестеренчатых редукторов, цепных, ременных и других передач, соударяющихся деталей и двигателей).

При проведении мероприятий по уменьшению вибраций агрегатов (насоса, компрессора и задвижек), с учетом того, что место постоянного пребывания персонала отделено от вышеупомянутых агрегатов, воздействие вибраций на персонал будет сведено к минимуму.

Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов

Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам. Согласно ГОСТ Р 30331.4-95, мерами предосторожности являются:

- не прикасайтесь к нагретым частям оборудования во время его работы;
- соблюдайте осторожность при работе с исследуемыми нагретыми образцами;
- выполняйте все работы по обслуживанию и чистке оборудования только при полностью отключенном от сети питания оборудовании и после остывания нагретых частей;
- используйте перчатки для защиты рук от ожогов.

Движущиеся части машин и механизмов

Существует опасность получения травмы подвижными элементами оборудования испытательного стенда, например, фланцы исполнительных механизмов. Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются:

- при эксплуатации оборудования необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами;
- запрещается эксплуатация оборудования при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов. Продолжать работу разрешается только после устранения причин неисправностей специалистами;

6.3.3 Расчет вредного производственного фактора

Произведем расчет одного из вредных производственных факторов, а именно недостаточную освещенность в помещении инженера оператора. Помещение оператора представляет собой блок бокс располагаемый на территории испытательного комплекса. Размеры помещения следующие: длина 6 метров, ширина 3,1 метра, высота 3 м. В следствие того, что разрабатываемый испытательный стенд является вновь проектируемым, то примем в качестве коэффициентов отражения стен и потолка следующие величины – $R_c = 30\%$, потолка – $R_p = 70\%$. В качестве светильников выберем двухламповые светильники ШОД-2-40, $\lambda = 1,1$.

Свес светильников h_c примем равным 0,5 м. Определим расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_{pn} \quad (6.1)$$

$$h = 3 - 0,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками составит:

$$L = \lambda \cdot h \quad (6.2)$$

$$L = 1,1 \cdot 1,7 = 1,87 \text{ м.}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L / 3 = 0,62 \text{ м.}$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{\left(B - \frac{2}{3} \cdot L \right)}{L} + 1 \quad (6.3)$$

$$n_{\text{ряд}} = \frac{\left(3,1 - \frac{2}{3} \cdot 1,87 \right)}{1,87} + 1 \approx 2$$

$$n_{\text{св}} = \frac{\left(A - \frac{2}{3} \cdot L \right)}{l_{\text{св}} + 0,5} \quad (6.4)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{\left(6 - \frac{2}{3} \cdot 1,87 \right)}{1,228 + 0,5} \approx 3$$

При длине лампы $l_{\text{св}} = 1,228 \text{ м.}$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильников типа ШОД-2-40 мощностью 40 Вт (с длиной 1,228 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 1,87 м. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 6.1)

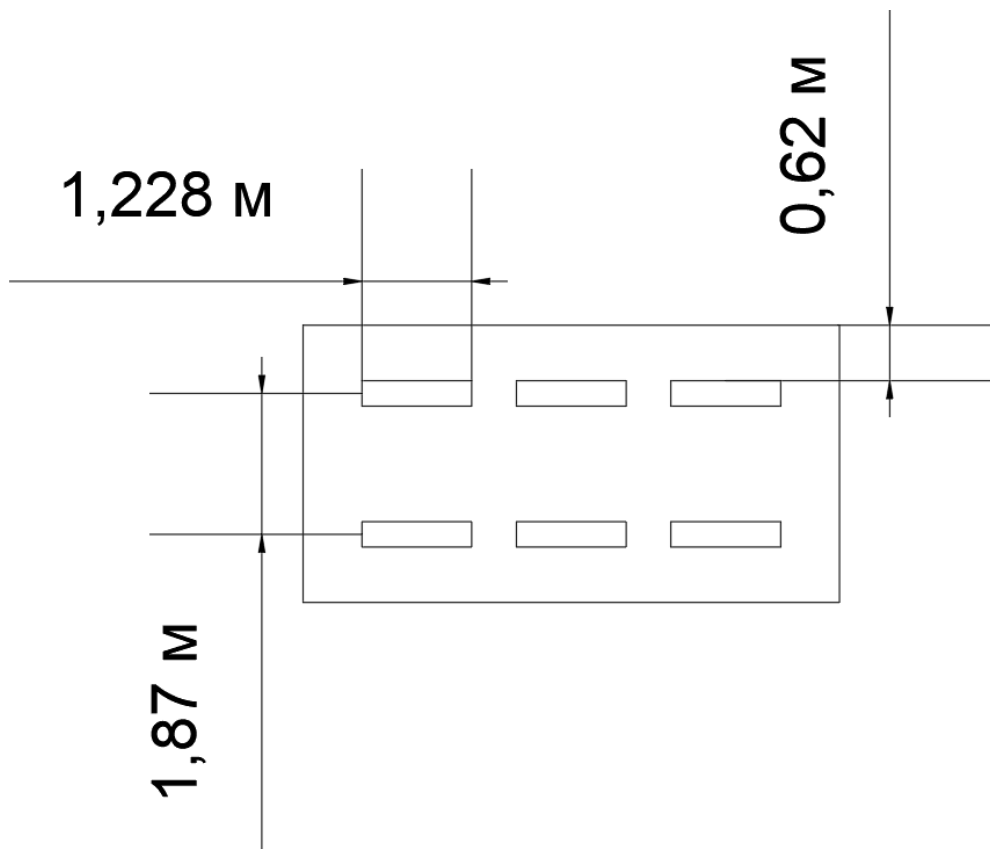


Рисунок 6.1– План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} \quad (6.5)$$

$$i = \frac{6 \cdot 3,1}{1,7 \cdot (6 + 3,1)} \approx 1,25$$

Коэффициент использования светового потока при данном индексе помещения составит: $\eta = 0,53$

Учитывая, что в выбранном светильнике расположено две лампы определим общее число ламп в помещении:

$$N = 2 \cdot n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 2 \cdot 2 \cdot 3 = 12 \text{ ламп}$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (6.6)$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 6 \cdot 3,1 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 1447,6 \text{ лм}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 30 Вт, с потоком 1650 лм.

Выполним проверку:

$$-10 \% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100 \% \leq 20 \%$$

$$-10 \% \leq 12,3 \% \leq 20 \%$$

Условие проверки соблюдается.

Определим номинальную электрическую мощность осветительной установки:

$$P = N \cdot p_{\text{л}} = 12 \cdot 30 = 360 \text{ Вт.}$$

6.3.4 Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействия опасных и вредных факторов на работающего (исследователя)

Для предотвращения ожога при работе обслуживающего персонала возле камеры сгорания необходима специализированная одежда, и выполнение техники безопасности.

Для предотвращения возможности поражения электрическим током должны соблюдаться следующие требования:

- при производстве монтажных работ используются только исправные инструменты, аттестованные службой КИПиА;
- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов были заземлены;
- все работы по устранению неисправностей производятся квалифицированным персоналом;
- постоянное наблюдение за исправностью электропроводки.

6.4 Экологическая безопасность

Загрязнение (окружающей среды, природной среды, биосферы) – это привнесение в окружающую среду (природную среду, биосферу) или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов (загрязнителей), или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

6.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания и хранения топлива, являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы установки.

6.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Антропогенные выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ – один из основных факторов, обуславливающих изменение химического состава атмосферы и ее теплового баланса. Как показано в исследованиях, процессы добычи, переработки и сжигания органического топлива являются источником 80 % суммарных объемов выбросов в атмосферу, в том числе 90 % диоксида углерода, изменения содержания которого называют основной причиной современного повышения температуры.

Негативное влияние вредных компонентов на здоровье населения, флору и фауну, объекты и сооружения не ограничивается территорией, прилегающей к источникам выбросов, а распространяется на сотни и тысячи километров. Поэтому в настоящее время загрязнение окружающей среды

приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

6.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения количества выбросов необходимо контролировать расход воздуха в камеру сгорания испытательного стенда. Ведь при нехватке окислителя, возникает большой недожог, что приводит к увеличению количества золовидных отходов процесса сжигания гелеобразного топлива. А при избытке воздуха образуются оксиды азота.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [44].

6.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Возникновение возгорания, а также возможность разрушения испытательной установки представляет большую опасность. Поскольку используемое гелеобразное топливо необходимо складировать, для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние баков путем измерения параметров топлива (температуры, давления), а также,

осуществление внешнего осмотра. Признаками самовозгорания являются повышение температуры и превышение требуемого давления.

Нарушение противопожарных правил является самой распространенной причиной возникновения пожара. В связи с этим обслуживающий персонал должен эти правила не только хорошо знать, но и выполнять.

6.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

Особое внимание стоит уделить пожаробезопасности и электробезопасности. При функционировании испытательного стенда существуют риски возникновения опасных ситуаций, как и при работе любого высокомоощного, производственного оборудования. Одним из рисков является разрыв магистралей топливоподачи, из-за превышения требуемого давления и расхода, и дальнейшее возгорание объекта. Для предотвращения появления такой ситуации оператор должен тщательно следить за технологическими параметрами установки (температура, давление, расход топлива). Также, для предотвращения возгорания помещение должно быть оборудовано средствами пожаротушения (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи, в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

6.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Во избежание вышеперечисленных ЧС, в соответствии со СНиП 21-01-97* необходимо осуществить следующие мероприятия:

– произвести качественный монтаж технических средств автоматизации, выполнить подбор кабелей нужного сечения имеющих плотную изоляцию, заземление оборудования;

- обеспечить безопасность людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения;
- допускать персонал к работе только после инструктажа, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж;
- установить инструкцией места для курения, хранения сырья, полуфабрикатов или готовой продукции и их предельно допустимое количество, порядок уборки горючих отходов и пыли, обесточивания электрооборудования, хранения промасленной спецодежды;
- при изнашивании какого-либо электрического элемента системы произвести его замену или демонтаж.

6.6 Выводы по разделу

В заключение всего вышеперечисленного хочется отметить основную задачу, поставленную данным разделом, – формирование у индивида социальной ответственности перед другими людьми и окружающей его средой обитания, а также необходимости выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий труда.

Как итог проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве при функционировании разрабатываемого испытательного стенда;
- произведен расчет вредного производственного фактора;
- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;

– описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;

Заключение

В рамках магистерской диссертации была разработана автоматизированная система управления подачи типичного гелеобразного топлива в камеру сгорания.

В процессе проведения экспериментальных исследований изучены реологические характеристики типичных гелеобразных топлив, определены температуры плавления, а также рассмотрены процессы протекающие при горении данного топлива.

Разработанная система выполнена по классическому трехуровневому принципу. Нулевой уровень представлен различными датчиками измерения технологических параметров, запорно-регулирующей арматурой и исполнительными механизмами. Первый уровень системы автоматизации выполнен на базе программируемого логического контроллера фирмы Элеси. На втором уровне реализован АРМ оператора в виде SCADA системы

В ходе выполнения магистерской диссертации была разработана проектная документация: схема структурная комплекса технических средств, схема функциональная, схема монтажная, схема принципиальная электрическая и общий вид щита.

Пояснительная записка к проекту содержит подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки графических разделов и мнемосхемы. Кроме того, произведен расчет параметров настройки регулятора и определены прямые оценки качества переходных процессов.

В дополнение к вышеописанному выполнены разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. M.B. Padwal, B. Natan, D.P. Mishra, Gel propellants, *Prog. Energy Combust. Sci.* 83 (2021) 100885. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100885>.
2. H.K. Ciezki, K.W. Naumann, Some aspects on safety and environmental impact of the German green gel propulsion technology, *Propellants, Explos. Pyrotech.* 41 (2016) 539–547. <https://doi.org/10.1002/prop.201600039>.
3. G. Baek, C. Kim, Rheological properties of Carbopol containing nanoparticles, *J. Rheol. (N. Y. N. Y.)* 55 (2011) 313–330. <https://doi.org/10.1122/1.3538092>.
4. M. Varma, R. Pein, Optimisation of processing conditions for gel propellant production, *Int. J. Energ. Mater. Chem. Propuls.* 8 (2009) 501–513. <https://doi.org/10.1615/IntJEnergeticMaterialsChemProp.v8.i6.30>.
5. S. Fakhri, J.G. Lee, R.A. Yetter, Effect of nozzle geometry on the atomization and spray characteristics of gelled-propellant simulants formed by two impinging jets, *At. Sprays* 20 (2010) 1033–1046. <https://doi.org/10.1615/atomizspr.v20.i12.20>.
6. D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, A.G. Nigay, V.A. Yanovsky, O.S. Yashutina, Ignition mechanism and characteristics of gel fuels based on oil-free and oil-filled cryogels with fine coal particles, *Powder Technol.* 360 (2020) 65–79. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.09.081>.
7. D.O. Glushkov, A.G. Nigay, V.A. Yanovsky, O.S. Yashutina, Effects of the initial gel fuel temperature on the ignition mechanism and characteristics of oil-filled cryogel droplets in the high-temperature oxidizer medium, *Energy and Fuels* 33 (2019) 11812–11820. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b02300>.
8. K.Y. Vershinina, G.S. Nyashina, V.V. Dorokhov, N.E. Shlegel, The prospects of burning coal and oil processing waste in slurry, gel, and solid state, *Appl. Therm. Eng.* 156 (2019) 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.035>.
9. J.D. Dennis, T.D. Kubal, O. Campanella, S.F. Son, T.L. Pourpoint,

Rheological Characterization of Monomethylhydrazine Gels, *J. Propuls. Power.* 29 (2013) 313–320. <https://doi.org/10.2514/1.B34611>.

10. R. Arnold, P.H.S. Santos, O.H. Campanella, W.E. Anderson, Rheological and Thermal Behavior of Gelled Hydrocarbon Fuels, *J. Propuls. Power.* 27 (2011) 151–161. <https://doi.org/10.2514/1.48936>.

11. J. Martinez-Pastor, P. Franco, R.A. Oton-Martinez, Rheology of double-base gelled propellants as the basis for extrusion process modelling: influence of normal force on slip layer and flow curves, *Int. J. Mater. Form.* 13 (2020) 219–233. <https://doi.org/10.1007/s12289-019-01480-9>.

12. K. Madlener, H.K. Ciezki, Estimation of Flow Properties of Gelled Fuels with Regard to Propulsion Systems, *J. Propuls. Power.* 28 (2012) 113–121. <https://doi.org/10.2514/1.50422>.

13. Y. Zhang, Z. Shen, B. Zhang, J. Sun, L. Zhang, T. Zhang, H. Xu, N. Bei, J. Tian, Q. Wang, J. Cao, Emission reduction effect on PM_{2.5}, SO₂ and NO_x by using red mud as additive in clean coal briquetting, *Atmos. Environ.* 223 (2020) 117203. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117203>.

14. S. Rahimi, D. Durban, S. Khosid, Wall friction effects and viscosity reduction of gel propellants in conical extrusion, *J. Nonnewton. Fluid Mech.* 165 (2010) 782–792. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2010.04.003>.

15. S. Han, J. Koo, H. Moon, Morphological classification of disintegration behavior of viscoelastic simulatant gel propellant in coaxial streams, *J. Vis.* 23 (2020) 287–298. <https://doi.org/10.1007/s12650-019-00619-9>.

16. B.V.S. Jyoti, M.S. Naseem, S.W. Baek, H.J. Lee, S.J. Cho, Hypergolicity and ignition delay study of gelled ethanolamine fuel, *Combust. Flame.* 183 (2017) 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2017.05.007>.

17. D.O. Glushkov, G. V. Kuznetsov, R.B. Tabakaev, D.B. Altyntbaeva, A.G. Nigay, Kinetic properties of gas-phase combustion of gel fuels based on oil-filled cryogels, *Thermochim. Acta.* 686 (2020) 178553. <https://doi.org/10.1016/J.TCA.2020.178553>.

18. B. Natan, S. Rahimi, The status of gel propellants in year 2000, *Int. J.*

Energ. Mater. Chem. Propuls. 5 (2002) 172–194.
<https://doi.org/10.1615/IntJEnergeticMaterialsChemProp.v5.i1-6.200>.

19. Altunina L.K., Manzhai V.N., Stas'eva L.A., Fufaeva M.S. Production of foamed cryogels by chemical gas generation in an aqueous solution of poly(vinyl alcohol) // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2007. – Vol. 80, No. 10. – P. 1647–1650.

20. Jyoti B. V. S., Baek S. W. Rheological characterization of ethanolamine gel propellants // *Journal of Energetic Materials*. – 2016. – T. 34. – №. 3. – C. 260-278.

21. Kim H. et al. Spray characteristics of aluminized-gel fuels sprayed using pressure-swirl atomizer // *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. – 2017. – T. 249. – C. 36-47.

22. Naseem M. S., Jyoti B. V. S., Baek S. W. Experimental Studies of Gel Fuel for Propulsion System // *The 2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT-2016)*. – Japan Society for Aeronautical and Space Science, 2016.

23. Yang D., Xia Z., Huang L., Ma L., Feng Y., Xiao Y. Experimental study on the evaporation characteristics of the kerosene gel droplet // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2018. – Vol. 93. – P. 171–177.

24. Cohen-Addad S., Höhler R. Rheology of foams and highly concentrated emulsions // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2014. – Vol. 19, No. 6. – P. 536–548.

25. Kim H.S., Mason T.G. Advances and challenges in the rheology of concentrated emulsions and nanoemulsions // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2017. – Vol. 247. – P. 397–412.

26. Masalova I., Malkin A.Ya. The engineering rheology of liquid explosives as highly concentrated emulsions // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2013. – Vol. 91. – P. 204–210.

27. Yanovsky V.A., Andropov M.O., Fakhrislamova R.S., Churkin R.A., Minaev K.M., Ulyanova O.S. Rheological properties of inverse emulsions stabilized

by ethanalamides of tall oil fatty acids // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 85. – Article No. 01020. – P. 1–7.

28. Nandagopalan P., John J., Baek S.W., Miglani A., Ardhianto K. Shear-flow rheology and viscoelastic instabilities of ethanol gel fuels // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2018. – Vol. 99. – P. 181–189.

29. Kalaitzis A., Makrygianni M., Theodorakos I., Hatziapostolou A., Melamed S., Kabla A., de la Vega F., Zergioti I. Jetting dynamics of Newtonian and non-Newtonian fluids via laser-induced forward transfer: Experimental and simulation studies // *Applied Surface Science*. – 2019. – Vol. 465. – P. 136–142.

30. Ouyang Y., Xiang Y., Gao X.-Y., Li W.-L., Zou H.-K., Chu G.-W., Chen J.-F. Micromixing efficiency in a rotating packed bed with non-Newtonian fluid // *Chemical Engineering Journal*. – 2018. – Vol. 354. – P. 162–171.

31. ГОСТ 32189-2013. Маргарины, жиры для кулинарии, кондитерской, хлебопекарной и молочной промышленности. Правила приемки и методы контроля; введ. 2014-07-01– Москва: Стандартинформ, 2014. – 56 с.

32. D.O. Glushkov, K.K. Paushkina, D.P. Shabardin, P.A. Strizhak, N.Y. Gutareva, Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation, *J. Environ. Manage.* 231 (2019) 896–904. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.067>.

33. D.O. Glushkov, D.V. Feoktistov, G.V. Kuznetsov, K.A. Batishcheva, T. Kudelova, K.K. Paushkina, Conditions and characteristics of droplets breakup for industrial waste-derived fuel suspensions ignited in high-temperature air, *Fuel*. 265 (2020) 116915. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116915>.

34. K.C. Adiga, Y.K. Pithapurwala, D.O. Shah, B.M. Moudgil, Coal slurries in mixed liquid fuels: rheology and ignition characteristics, *Fuel Process. Technol.* 18 (1988) 59–69. [https://doi.org/10.1016/0378-3820\(88\)90074-4](https://doi.org/10.1016/0378-3820(88)90074-4).

35. S.C. Yao, L. Liu, Behavior of suspended coal-water slurry droplets in a combustion environment, *Combust. Flame*. 51 (1983) 335–345. [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(83\)90111-6](https://doi.org/10.1016/0010-2180(83)90111-6).

36. H. Wang, S. Guo, L. Yang, Y. Guo, X. Jiang, S. Wu, Surface morphology and porosity evolution of CWS spheres from a bench-scale fluidized bed, *Energy and Fuels*. 29 (2015) 3428–3437. <https://doi.org/10.1021/ef502923t>.
37. K. Zhang, Q. Cao, L. Jin, P. Li, X. Zhang, A novel route to utilize waste engine oil by blending it with water and coal, *J. Hazard. Mater.* 332 (2017) 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.02.052>.
38. S. McAllister, J.-Y. Chen, A.C. Fernandez-Pello, *Fundamentals of Combustion Processes*, Springer New York, New York, NY, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7943-8>.
39. D. Liang, Z. Wu, Y. Jiang, K. Ren, M. Zhou, S. Chu, D. Shen, Effects of solids' concentration and oleic acid dispersant on the stability and combustion characteristics of aluminum/bioethanol nanofluid fuel, *Powder Technol.* 398 (2022) 117108. <https://doi.org/10.1016/J.POWTEC.2022.117108>.
40. G.S. Nyashina, J.C. Legros, P.A. Strizhak, Environmental potential of using coal-processing waste as the primary and secondary fuel for energy providers, *Energies*. 10 (2017) 405. <https://doi.org/10.3390/en10030405>.
41. K.Y. Vershinina, N.E. Shlegel, P.A. Strizhak, Impact of environmentally attractive additives on the ignition delay times of slurry fuels: Experimental study, *Fuel*. 238 (2019) 275–288. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.132>.
42. D.O. Glushkov, S.Y. Lyrshchikov, S.A. Shevyrev, P.A. Strizhak, Burning properties of slurry based on coal and oil processing waste, *Energy & Fuels*. 30 (2016) 3441–3450. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02881>.
43. Галеев А. Г. Основы устройства испытательных стендов для отработки жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок. Руководство для инженеров-испытателей – г. Пересвет, Московской области: Изд-во ФКП “НИЦ РКП”, 2010. - 178 с.: ил.
44. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – Взамен ГОСТ 12.0.004-90; введ. 2017-03-01. – Москва: Стандартинформ, 2015.

– 60 с.

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

46. Allen bradley Каталог продукции. ПЛК Micro 870. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/Micro870#specifications>, свободный. – Загл. с экрана.

47. ТД «ОВЕН» Каталог продукции. ПЛК 63. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/catalog/programmiruemie_logicheskie_kontrolleri/info/general_information_63_73, свободный. – Загл. с экрана.

48. АО «ЭлеСи» Каталог серийной продукции. ПЛК ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/plc.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.

49. ООО «ЕЛЕМЕР» Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/files/catalog/glavi/205h.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

50. ТД «ОВЕН» Каталог продукции. Датчики температуры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/dtshp5/>, свободный. – Загл. с экрана.

51. ООО «Эмерсон» Каталог продукции. Датчики давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/documents/automation/каталог/датчики-давления-Метран-150-раздел-каталога-Метран>, свободный. – Загл. с экрана.

52. АО «ВИКА МЕРА». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wika.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

53. ООО «BDsensors» Датчики давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bdsensors.ru/pdf/doc/hmp331.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

54. ООО «Энергосервер» Каталог продукции. Датчики переменного

перепада давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energoservert.ru/catalog/rashod-po-perepadu/optibar-dp-7060-sizmeritelnoy-diafragmoj.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

55. ООО «Тепломер-Сервис» Расходомеры Питерфлоу. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teplomer.ru/device/elektromagnitnye-rashodomery-piterflou-rs#f>, свободный. – Загл. с экрана.

56. ГК «Теплоприбор» Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlrccsjdm.xn--plai/catalog/mehanizm-ispolnitelnyj-meo-250-63-25-160-meof/>, свободный. – Загл. с экрана.

57. Проектирование внешних электрических и трубных проводок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ani-studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-Themes/Theme10.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

58. Какие бывают электрические схемы. Портал самэлектрик. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://samelectrik.ru/kakie-byvayut-elektricheskie-sxemy.html>, свободный. – Загл. с экрана.

59. ИЕК GROUP Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iek.ru/products/catalog/>, свободный. – Загл. с экрана.

60. Андык В.С. Теория автоматического управления. Учебное пособие к практическим занятиям: - Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 108с.

61. Методы расчета систем автоматического регулирования/Под ред. Волгина В.В. - 2-е изд.- М.: Изд. МЭИ, 1972. - 226 с.

62. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электрических станций. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.

Приложение А The effect of metal and non-metal additives to gel fuel on the ignition and combustion behavior of particles exposed to radiant heating

(справочное)

The effect of metal and non-metal additives to gel fuel on the ignition and combustion behavior of particles exposed to radiant heating

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ03	Сидоров Денис Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ИШФВП	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.ф.-м.н., доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин Александр Сергеевич	к.ф.-м.н., доцент		

A The effect of metal and non-metal additives to gel fuel on the ignition and combustion behavior of particles exposed to radiant heating

A.1 Short introduction

The use of combustible liquids as the basis for the preparation of typical gel-like fuels, as well as the addition of metallized particles, is a promising solution to the problem of environmental pollution.

A.2 Fuel preparation

A group of gel fuel compositions based on oil-filled cryogels (Table 1) was prepared with fine metal (copper) particles.

Table 1. Gel fuel compositions.

No. of composition	Fuel component concentration		
	Oil-filled cryogel		Fine particle additive to oil-filled cryogel
	Aqueous solution of PVA (10 wt%), vol%	I-40A oil, vol%	Cu particles, wt%
1	50*	50	–
2	50*	50	10
3	50*	50	30
4	50*	50	50

*allowing for 2 vol% emulsifier (surfactant).

Gel fuel components have the following main characteristics:

(i) dispersion medium – Kuraray Poval 15-99 (distilled water with conductivity no more than 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) aqueous solution of PVA, viscosity 4% (DIN 53015) 13.4 $\text{mPa}\cdot\text{s}$, degree of hydrolysis 99.2%, residual acetyl content 0.8% (Kuraray Co., Ltd, Japan);

(ii) dispersed phase – industrial I-40A oil (GOST 20799-88, Russia): kinematic viscosity 61–75 cSt (at 40 °C); density 868 kg/m³ (at 20 °C); ash content no more than 0.005 wt%; freezing temperature at or below minus 15 °C; flash temperature at or above 220 °C;

(iii) emulsifier (surfactant) – Tween 80, polyxyethylene (20) sorbitan monooleate (Vecton, Russia);

(iv) fine metal particles – copper nanopowder (hereinafter Cu): 98 wt% Cu + 2 wt% other chemical elements, particle size 50–110 nm, (Plasmoterm, Russia);

Fuel production and preparation of samples for ignition experiments consisted of four main stages. At the first stage, inert atmosphere was created in a pressure-tight box (Fig. 1) which was used for fuel preparation. The content of oxygen was no more than 0.1% to prevent the formation of particle agglomerates in metal powders and oxide film growth on them. The aqueous solution of polyvinyl alcohol (PVA) was prepared. It ensured the gel state of the fuel due to the polymer matrix resulting from a *freezing / thawing* cycle. The PVA powder was dissolved in water using an ES-8300 D paddle mixer (Ecros, Russia) at 500 rpm. To accelerate this process, water was heated to 80 °C.

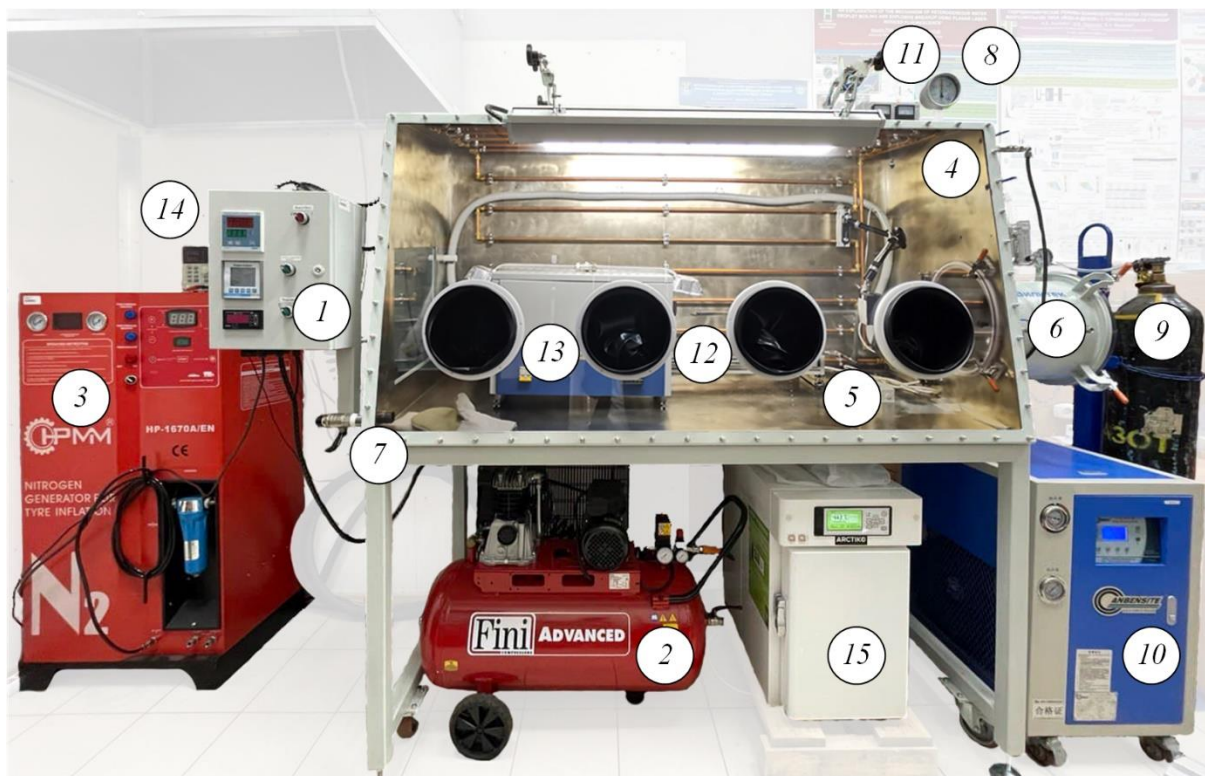


Fig. 1. Appearance of the setup used to prepare fuels and conduct research into ignition and combustion of gel fuel particles: 1 – switchboard; 2 – compressor; 3 – nitrogen generator; 4 – pressure-tight box; 5 – gas analyzer; 6 – airlock; 7 – blow-off valve; 8 – draft and head gauge; 9 – nitrogen cylinder; 10 – chiller; 11 – power supply; 12 – manipulator; 13 – rotary tube furnace; 14 – gas pumping system; 15 – deep-freeze chamber.

At the second stage, the corresponding proportion of oil (50 vol%) was introduced into the aqueous solution of PVA to produce a primary oil emulsion as a result of dispersing the components using a high-speed GJ-3S agitator (Qingdao ChuangMeng Instrument Co., Ltd., China) at a shaft speed of 11000 rpm. To improve the emulsion stability, Tween[®] 80 emulsifier (surfactant) was used at a concentration of 2 vol%. Thus, the volume ratio of components (oil and aqueous solution of PVA) in the fuel emulsion was 1:1. The resulting primary emulsion was divided into 4 parts which were further used to produce fuel compositions No. 1 – No. 4 (Table 1). The first part was taken to prepare oil-filled cryogel (fuel composition No. 1). After that, the air-tight packaging of commercial metal powders was opened in the inert atmosphere of the pressure-tight box (Fig. 1). Portions of the

metal powders were introduced into the oil emulsions (see Table 1) that were constantly stirred with a paddle mixer at 3000 rpm until their concentrations reached 30 wt%. The mixing time was no less than 15 min. after every new portion was added.

At the third stage, the slurries and emulsions obtained were poured into cylindrical metal containers (30 mm in diameter, 10 mm in height)

The gel structure of the fuel resulted from freezing the slurries and emulsions at minus 15 °C for 12 hours and then thawing the fuel pellets for 12 hours at 20 °C.

At the fourth stage, the fuel pellets were cut into particles with a mass of 5 mg in the inert atmosphere of the pressure-tight box at 20 °C. Those particles were used to experimentally study the ignition and combustion.

A.3 Rheological properties of oil emulsions

The rheological measurements were carried out immediately after the emulsions were prepared using the Brookfield DV viscometer at a speed range of 0.1... 250 rpm/min. Before the measurement, each sample was conditioned at a temperature of 20 C for 30 minutes. The accuracy of the temperature control is 0.2 C. The obtained flow curves and viscosity curves are presented in Fig. 2.

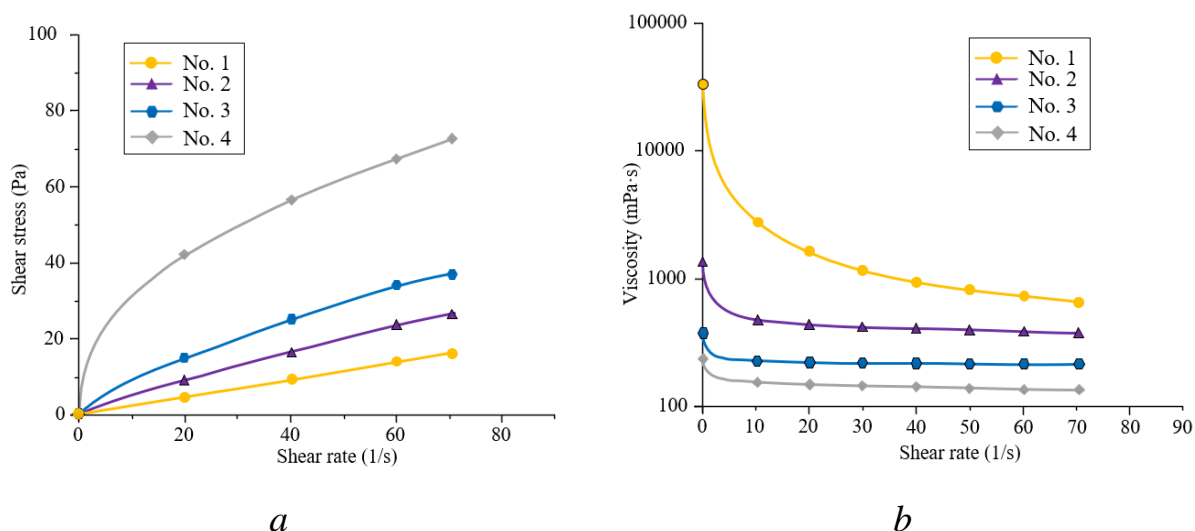


Fig. 2. Flow (a) and viscosity (b) curves of oil-filled fuels with addition of metallized particles

To describe the rheological behavior of oil emulsions, the present work uses the Herschel-Bulkley [1-3] model, which describes well the rheological properties of pseudoplastic liquids and is generally used in the analysis of the flow of concentrated emulsions.

The basic equation of the Herschel-Bulkley model:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n, \quad (1.1)$$

where τ – is the shear stress [Pa];

τ_0 – the yield stress [Pa];

K – the consistency index, [Pa· s];

$\dot{\gamma}$ – the shear rate, 1/s;

n – the flow index.

The parameter values in the Herschel-Bulkley equation (1.1) obtained for emulsions of different component composition, based on the results of the experimental study, are given in table 2.

Table 2. Parameter values in the Herschel-Bulkley equation for emulsions at different PVP concentrations in the water phase and oil content.

Composition	τ_0 , Pa	K , mPa·s	n	$\dot{\gamma}$, 1/s	Adj. R^2
Aqueous solution of PVA (10 wt%), vol%					
50 vol% oil, without copper	1,0326	545,2	0,7022	0...130	0,99705
50 vol% oil, 10 wt% Cu	0,0339	228,7	1,0039	0...70	0,99997
50 vol% oil, 30 wt% Cu	0,0188	700,2	0,8588	0...70	0,99987
50 vol% oil, 50 wt% Cu	3,6332	10074,8	0,4500	0...70	0,99923

The results (fig. 2) illustrate that the viscosity of PVC solutions with the addition of metallized particles remains constant in almost the whole range of shear velocities 0...140 1/s. The dependencies $\tau=f(\dot{\gamma})$ have a linear view of $n\approx 1$ (table 2), and the corresponding curves (fig. 2) pass through the origin of the coordinates $\tau_0\approx 0$ (table 2). Thus, it can be concluded that aqueous solutions of polyvinyl alcohol with the addition of copper particles behave as the most typical Newtonian liquids [4].

In turn, the rheological behavior of emulsions cannot be described by Newton's equation. The appearance of a new phase in the form of oil droplets gives such liquids pseudoplastic properties. With the increase in the disperse phase content in emulsions, deviation from the Newtonian current increases, as evidenced by the decrease in the flow index (n) and the increase in the yield limit (τ_0). The fluctuating change in rheological properties occurs when the share of oil in the emulsion approaches the limit packing parameter $\varphi_{\max}\approx 0,74$ (74 %), which is due to the increase in the number of contacts between the drops.

In addition to the volume fraction of the oil on the rheological properties of the emulsions has a significant influence on the viscosity of the dispersion medium, which for the compositions considered in this work is determined by the concentration of PVC in aqueous solution. Thus, increasing the share of copper in the water phase leads to a progressive increase in viscosity and structural-mechanical properties of oil emulsions.

A.4 Melting characteristics of gel fuel

The melting point (T_{mp}) of oil-filled cryogel was determined by the method [5]. Fuel pellets in an open cylindrical metal container were placed in a muffle furnace at an initial temperature of 50 °C. The temperature was then increased at increments of 1 °C. The samples were heated at each temperature for at least 5 minutes. The melting point was the value at which fuel samples were converted from a gel-like state to a liquid state in their entirety. It has been established that for the tested fuel formulations $T_{\text{mp}}=64\text{...}66$ °C. The lower the polymer concentration, the

more intense the melting process takes place. The maximum difference between the melting times of different fuel formulations is about 70 %. Based on the results obtained, it can be concluded that oil-filled cryogel are promising materials for reducing the environmental and fire hazard of combustible liquids, for example, spent oils of petroleum origin. The polymer matrix securely retains the cryogenic oil even when it is heated to relatively high temperatures (about 65 °C). The combustible liquid does not reach the surface of the fuel pellet, respectively, there is no pollution of the environment and no evaporation of combustible vapours from the free surface.

A.5 Experimental technique

The ignition and combustion of single gel fuel particles during their dispersion were studied using an experimental setup (Fig. 1) with controllable microclimate parameters (air pressure and O₂ concentration). In this research, the pressure and oxygen concentration in the working chamber of the pressure-tight box (Fig. 1) were reliably maintained at 101.3 kPa and 21%, respectively. The ignition and combustion of single fuel particles were performed using a well-tested experimental technique whose idea is clear from the experimental setup in Fig. 3. A high-temperature motionless air medium (maximum temperature 1000 °C) was generated in a tube muffle furnace (internal diameter 50 mm, length 450 mm). A fuel particle with a mass of 5 mg, placed on a ceramic holder, was introduced into the muffle furnace, preheated to T_g , using a manipulator. A high-speed video camera was positioned on the movable platform of the manipulator, thus the fuel particle was in the focal plane of the video camera lens all through the induction period. The main specifications of the high-speed color Phantom V411 video camera (Vision Research, USA) and the video recording settings are as follows: filming rate of 2000 frames per second at maximum resolution 800×600 pixels; 12-bit color depth; 20 μm pixel size; 1 μs minimum exposure; image-based auto-trigger. The video camera was coupled with an AF 105 mm lens (Sigma, Japan): minimum focus distance

0.312 m, angle of view 23.30°. The image contrast was enhanced by using background LED illumination (Fig. 3).

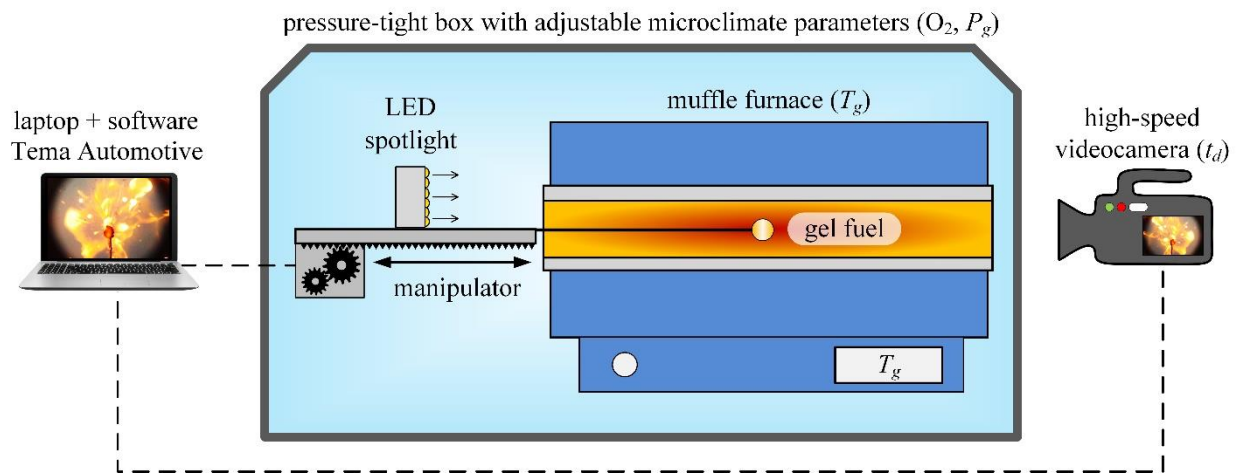
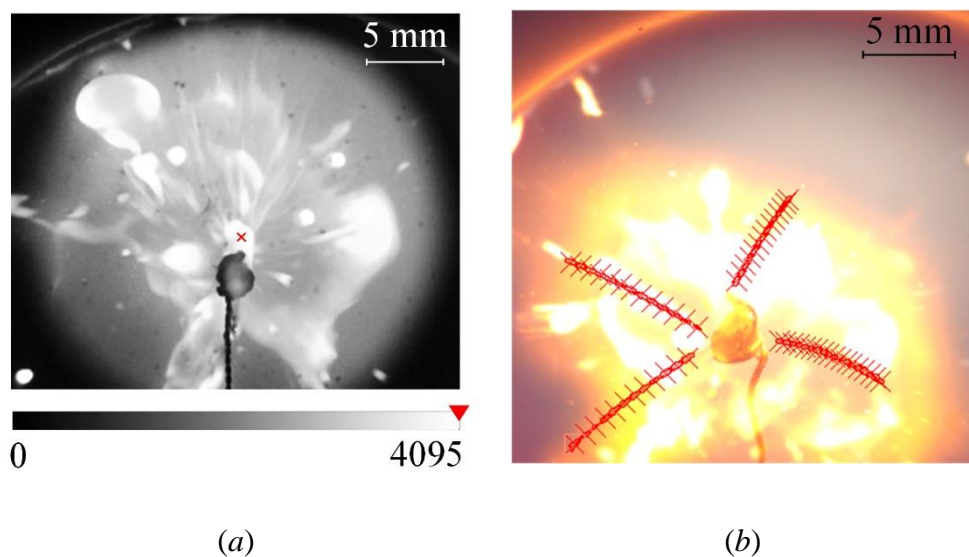
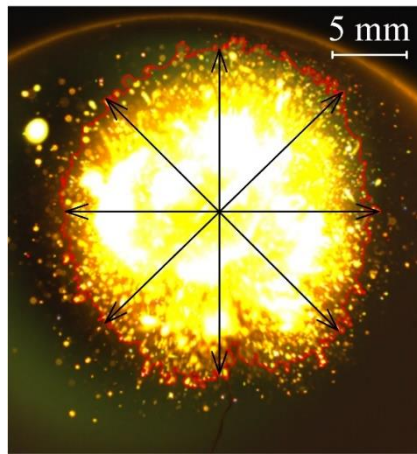


Fig. 3. Scheme of experimental setup.

In the experimental research, a group of characteristics was recorded: the ignition delay time (t_d) of the fuel particle; average velocity (V_p) of fine fragments (products of the fuel melt droplet dispersion); burnout area (d_{burn}) of fine fragments.

Five experiments were carried out for each fuel composition under identical conditions ($T_g = \text{const}$). The video frames were processed with the commercial Phantom Camera Control software (Vision Research, USA) and Tema Automotive software (Image Systems AB, Sweden). Typical video frames showing the principles of the video recording processing are presented in Fig. 4.





(c)

Fig. 4. Typical frames of video recording processing algorithms: *a* – moment of the fuel ignition ($t=t_d$) (Phantom Camera Control software); *b* – movement of fragments after the fuel melt droplet dispersion ($t>t_d$) (Tema Automotive software); *c* – burnout area of fine fragments ($t>t_d$) (Tema Automotive software).

The ignition delay time t_d was the time interval between two points, corresponding to the following events. The first event was when the induction period started. That was recorded by the moment of introducing the fuel particle into the muffle furnace ($t=0$). The second event was the ignition of the gas-vapor mixture and fine fragments after the fuel melt droplet dispersion ($t=t_d$). This event was recorded at a point when controlled luminous intensity reached a threshold value in the video recording area (Fig. 4*a*). In the monochromatic image format of the video recording processing algorithm (Phantom Camera Control software), the values of the shades of gray (from 0 to 4095 – from black to white, respectively) were measured frame by frame, in each point (pixel) of the recording area (Fig. 4*a*). In the black-and-white color layout, the luminous intensity interval from 3520 to 4095 indicated a rapid exothermic reaction, i.e., the fuel combustion, in which the radiation wavelength lay within the visible electromagnetic spectrum range. The ignition moment was recorded automatically when the luminous intensity reached (or exceeded) the threshold value (3520 in the shades of gray) in some point in the vicinity of the fuel melt droplet under study. The systematic and random errors of t_d

measurement, conditioned by the video recording speed and experimental data dispersion, did not exceed 0.5 % and 10 %, respectively.

Fine fragment velocities (V_p) after the fuel melt droplet dispersion were determined by analyzing the results from a set of 5 experiments under identical initial conditions. The video recording processing algorithm is similar to the method in [6]. The trajectories of at least four fine fragments separating from the fuel melt droplet as a result of dispersion and moving in different directions in the focal plane of the camera (Fig. 4b) were tracked frame by frame until the moment the fragment burned out or until it went beyond the recording area. The instantaneous velocities of each recorded fragment at discrete time points were calculated automatically from the ratio of an increase in the distance covered by a fine fragment to a corresponding time period (the time increment $0.5 \mu\text{s}$ was conditioned by the filming rate). As fine fragments were moving in the recording area, their velocities were decreasing. V_p was maximum at the moment of the fuel melt droplet dispersion. During movement (until the moment of burnout), the velocity of fine fragments V_p decreased by 20–40 % relative to the initial value. The statistical data obtained were then averaged for each experiment. The random errors of determining highly unsteady values of V_p were no more than 30 %.

A.6 Results and discussion

Figures 5–8 present typical video frames of the ignition and combustion of particles of gel fuels, considered in this research (Table 1), in a high-temperature motionless air medium at $T_g=900 \text{ }^\circ\text{C}$. In the captions to Figs. 5–8, t_d stands for the ignition delay time of the fuel particle, and $t=0$ corresponds to the moment of introducing the fuel particle into a high-temperature air medium.

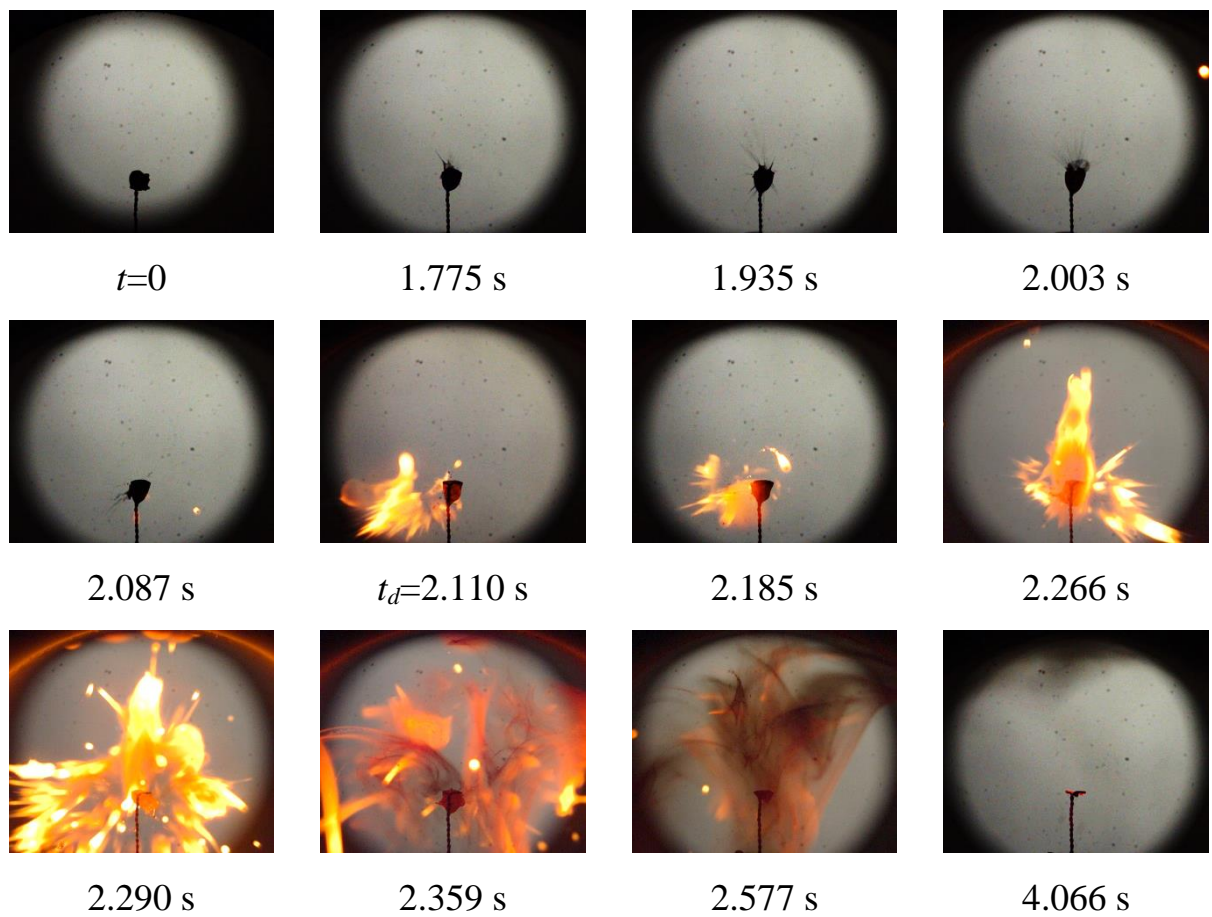
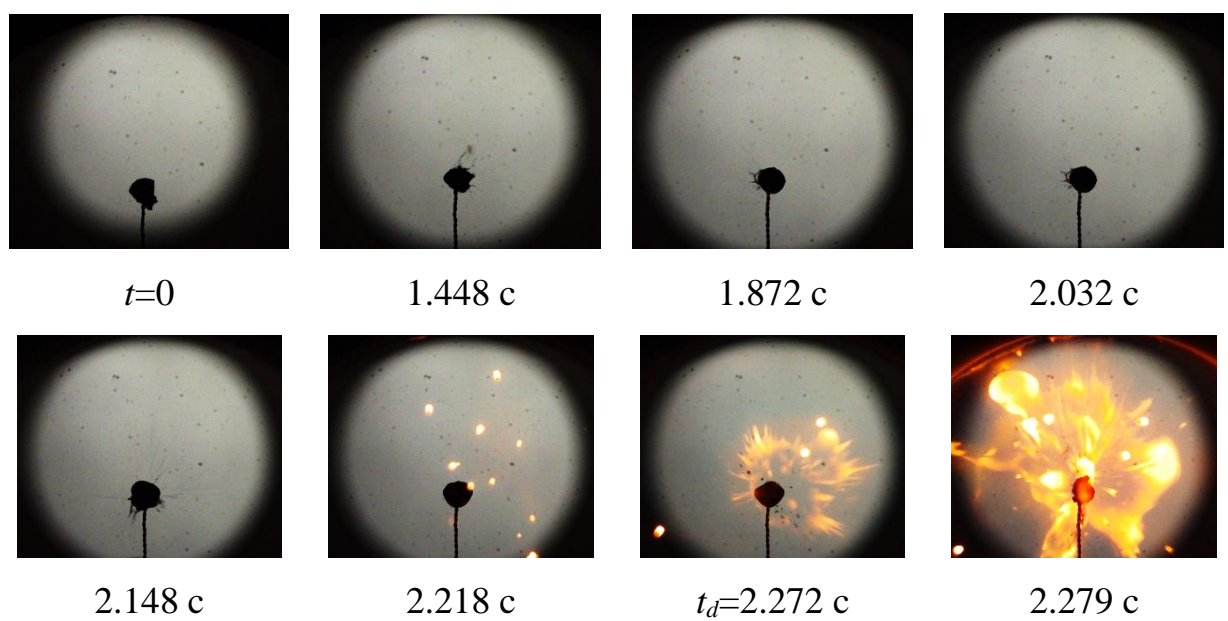


Fig. 5. Typical video frames of the ignition and combustion of gel fuel particle (composition No. 1 is oil-filled cryogel without solid components) at $T_g=900\text{ }^\circ\text{C}$.



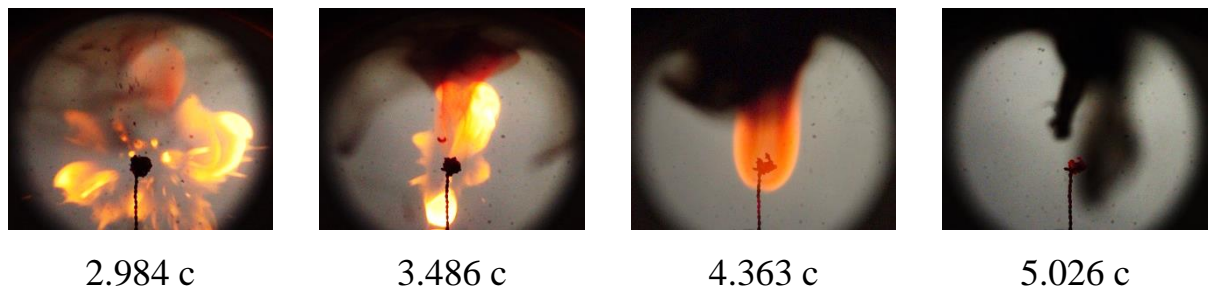


Fig. 6. Typical video frames of the ignition and combustion of gel fuel particle (composition No. 2 contains 10 wt% fine Cu particles) at $T_g=800$ °C.

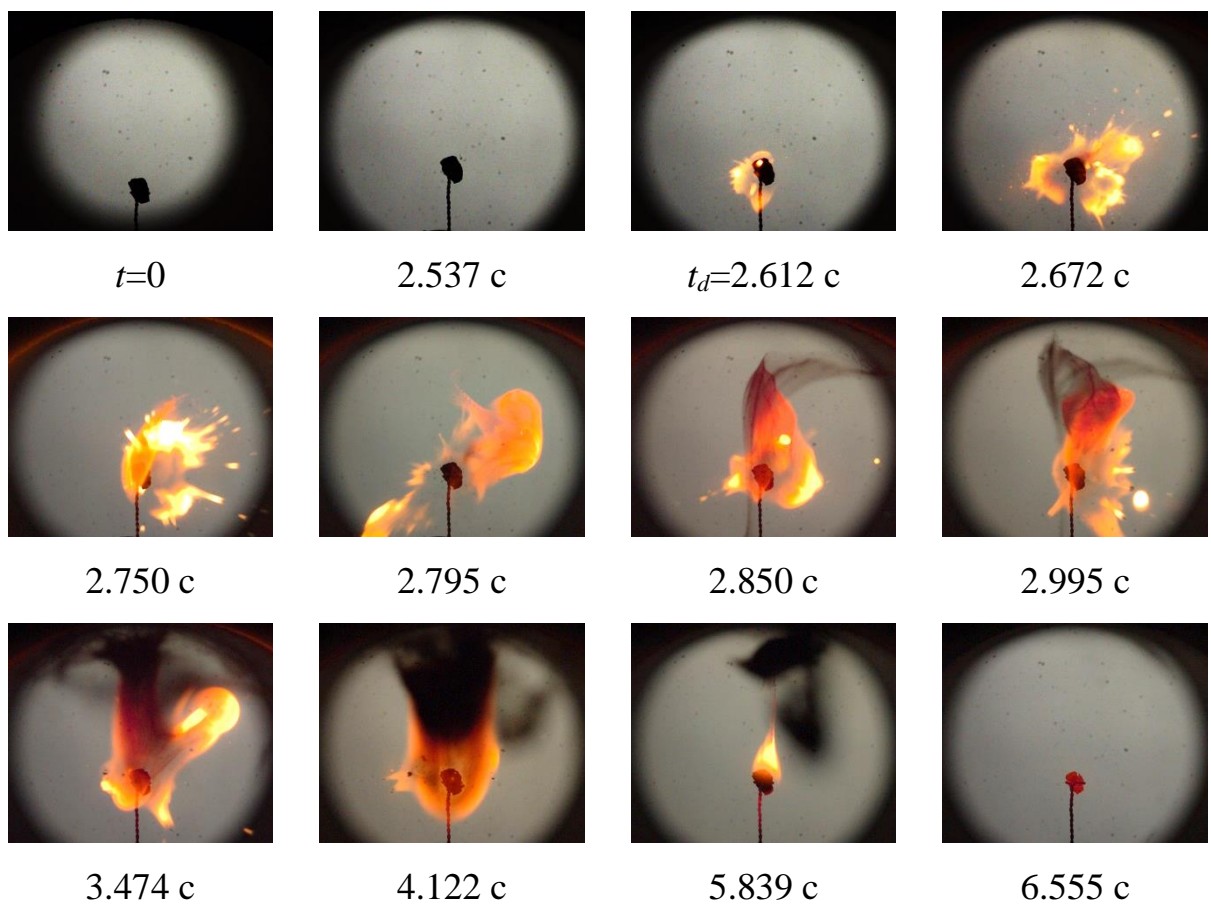


Fig. 7. Typical video frames of the ignition and combustion of gel fuel particle (composition No. 3 contains 30 wt% fine Cu particles) at $T_g=900$ °C

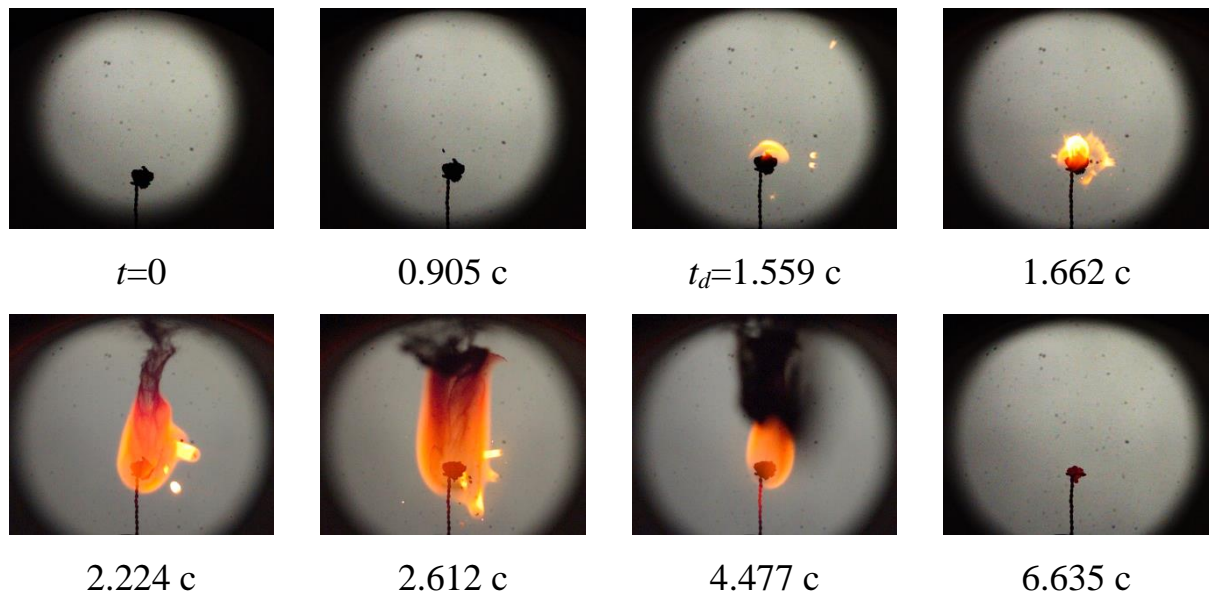


Fig. 8. Typical video frames of the ignition and combustion of gel fuel particle (composition No. 6 contains 50 wt% fine Cu particles) at $T_g=900$ °C.

Due to the multicomponent composition of gel fuels (even those without fine solid particles), they are characterized by melt droplet dispersion (Fig. 5). Based on the previous research [6], dispersion (one of the most promising ways of enhancing the ignition and burnout of multicomponent fuels) is conditioned by the formation of vapor bubbles in the volume of the fuel droplet (emulsion or slurry). As the fuel is heated, these bubbles are filled with the vapors of combustible liquid and collapse when reaching critical pressure. The fuel droplet disperses partially or completely into fragments. Combustible vapors in bubbles are blown into a high-temperature oxidizer medium around the droplet, where they are ignited.

Significantly, adding fine solid particles (both inert and metal ones) to the gel fuel composition reduces the intensity of the fuel melt droplet dispersion (Figs. 8–13), other conditions being equal. Under such conditions, the ignition of the gas-vapor mixture in the vicinity of the droplet surface occurs without its dispersion. This process takes place during the gas-phase combustion of the fuel at $t > t_d$. In this case, the droplet dispersion does not affect the fuel characteristics, though after the fuel ignition, it enhances the burnout of components due to a significant increase in the area of heat supply to the fine fragment surface.

The conducted experiments indicate that a metal powder concentration in the gel fuel composition under study exceeding 10% does not have a positive effect on the ignition characteristics during radiant heating. To determine the optimal concentration of metal particles in the fuel composition to minimize the ignition delay times, additional studies will be needed.

The experimental findings obtained indicate that compositions containing fine metal and non-metal particles can provide stable dispersion of gel fuel particles during heating. Both their concentrations and thermophysical characteristics affect the ignition and burnout characteristics of a particular fuel. The results of the conducted research are fundamental for future studies on finding the optimal concentrations of solid additive powders and their particle sizes in the gel fuel composition to provide the best energy characteristics and maximum efficiency of dispersion to enhance the fuel component burnout.

References

1. Cohen-Addad S., Höhler R. Rheology of foams and highly concentrated emulsions // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2014. – Vol. 19, No. 6. – P. 536–548.
2. Kim H.S., Mason T.G. Advances and challenges in the rheology of concentrated emulsions and nanoemulsions // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2017. – Vol. 247. – P. 397–412.
3. Masalova I., Malkin A.Ya. The engineering rheology of liquid explosives as highly concentrated emulsions // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2013. – Vol. 91. – P. 204–210.
4. Nandagopalan P., John J., Baek S.W., Miglani A., Ardhianto K. Shear-flow rheology and viscoelastic instabilities of ethanol gel fuels // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2018. – Vol. 99. – P. 181–189.
5. Y.Y. Hsu, On the size range of active nucleation cavities on a heating surface, *J. Heat Transfer*. 84 (1962) 207–213. <https://doi.org/10.1115/1.3684339>.

6. D.O. Glushkov, D.V. Feoktistov, G.V. Kuznetsov, K.A. Batishcheva, T. Kudelova, K.K. Paushkina, Conditions and characteristics of droplets breakup for industrial waste-derived fuel suspensions ignited in high-temperature air, *Fuel*. 265 (2020) 116915. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116915>.