



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
Автоматизированная система управления процессом сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания

УДК: 681.5:621.431.019.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Исмаил Али		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Вершинина Ксения Юрьевна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

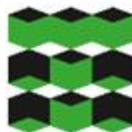
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**Планируемые результаты выпускника освоения 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
5БМ13	Исмаил Али

Тема работы:

Автоматизированная система управления процессом сжигания композиционных топлив
в двигателе внутреннего сгорания

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	В рамках ВКР разрабатывается комплект проектной и конструкторской документации, а также программные алгоритмы и мнемосхемы для АСУ процессом подготовки и сжигания топлива в двигательной установке.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Экспериментальные исследования. 2. Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления. 3. Разработка конструкторской и схемотехнической документации. 4. Расчет параметров настройки регулятора. 5. Мнемосхема АСУ. 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7. Социальная ответственность.

Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Опросные листы. 4. Спецификация приборов и средств автоматизации. 5. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации. 6. Схема монтажная. 7. Схема принципиальная электрическая. 8. Схема расположения блоков зажимов в щите. 9. Перечень элементов щита управления лабораторным стендом дизельного ДВС. 10. Сборочный чертеж щита управления. 11. Общий вид щита управления. 12. Спецификация щита управления лабораторным стендом дизельного ДВС.
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович, доцент ООД, д.т.н.
Иностранный язык	Гончарова Любовь Анатольевна, Доцент ОИЯ ШБИП, к.п.н.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
Экспериментальные исследования (Experimental determination of the ignition and combustion characteristics of petroleum diesel droplets and biodiesel fuel derived from rapeseed oil)

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Вершинина Ксения Юрьевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Исмаил Али		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 142 страницы, 25 рисунков, 35 таблиц, 72 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: лабораторный стенд, двигатель внутреннего сгорания, дизельное топливо, биодизельное топливо, автоматизированная система, микропроцессорные средства автоматизации.

Объектом автоматизации является лабораторный стенд дизельного ДВС, предназначенный для зажигания и горения капель нефтяного дизельного топлива и биодизельного топлива.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления лабораторным стендом дизельного ДВС, предназначенного для зажигания и горения капель нефтяного дизельного топлива и биодизельного топлива, полученного из рапсового масла.

Основным преимуществом разработанной системы является наличие программно-оперативного комплекса на базе SCADA-системы, который повышает качество регулирования и быстродействия системы, а также позволяет вовремя отреагировать на нерегламентированные изменения в процессе эксплуатации системы.

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

КТС – комплекс технических средств;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПО – программное обеспечение;

УСО – устройство связи с объектом;

РО – регулирующий орган;

ТСА – технические средства автоматизации;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

SCADA – комплекс программ, который нужен для разработки и обеспечения работы системы сбора, обработки, архивирования информации в реальном времени.

Содержание

Введение	12
1 Научно-исследовательская работа	14
1.1 Цель и задачи исследования	14
1.2 Анализ научно-технической проблемы	15
1.3 Экспериментальный стенд и процедура приготовления биодизельного топлива	17
1.4 Экспериментальные исследования	23
1.4.1 Компоненты топлив	23
1.4.2 Экспериментальный стенд и методика определения характеристик зажигания и горения топлив	25
1.5 Результаты экспериментальных исследования	28
1.6 Математическая обработка результатов	31
1.7 Выводы по результатам экспериментальных исследований	34
2 Разработка системы автоматического управления сжиганием топлива	35
2.1 Системный анализ объектов автоматизации	35
2.2 Разработка структуры КТС АСУ	39
2.2.1 Определить перечень функций, архитектуры и состава КТС АСУ	39
2.2.2 Разработка структурной схемы измерительного канала КТС на лабораторном стенде дизельного двигателя внутреннего сгорания	43
2.2.3 Проектирование и разработка АСУ лабораторным стендом для дизельных двигателей	44
2.2.4 Разработка структурной схемы системы автоматического управления КТС на основе микропроцессорной техники	47
2.2.5 Оценка погрешности измерительного канала	48
2.3 Разработка функциональной схемы системы управления	48
2.4 Составление опросных листов на приборы и средства автоматизации	50
2.5 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации	51
2.5.1 Составление спецификации ТСА	51
2.5.2 Выбор технических средств автоматизации	51
2.6 Проектирование схемы внешних проводок	62

2.7	Разработка принципиальной электрической схемы щита управления ..	64
2.8	Составление перечня элементов щита управления	66
2.9	Разработка сборочного чертежа щита управления	67
2.10	Составление спецификации щита управления.....	68
2.11	Разработка фрагментов информационного, математического и программного обеспечений.....	69
2.12	Разработка мнемосхем SCADA-системы.....	72
2.13	Выводы по разделу проектирование систем автоматического управления подготовкой и сжиганием топлива в ДВС.....	74
3	Расчет параметров настройки регулятора	75
3.1	Идентификация объекта управления.....	75
3.2	Расчет оптимальных параметров настройки (ОПН) ПИ-регулятора.....	77
3.2.1	Обоснование и выбор ОПН регулятора	77
3.2.2	Расчет и построение переходного процесса, оценка его качества ..	79
3.3	Вывод по разделу Расчет параметров настройки регулятора.....	83
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	85
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	86
4.2	Анализ конкурентных технических решений	86
4.3	FAST-анализ	89
4.3.1	Выбор объекта FAST-анализа	89
4.3.2	Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом	89
4.3.3	Определение значимости выполняемых функций объектом.....	90
4.3.4	Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования	91
4.3.5	Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	92
4.4	Планирование научно-исследовательских работ	93
4.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	97
4.5.1	Расчет материальных затрат НТИ	97
4.5.2	Амортизация	98
4.5.3	Основная заработная плата исполнителей	98
4.5.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	102

4.5.5 Накладные расходы.....	102
4.5.6 Формирование затрат научно-исследовательского проекта	103
4.6 Ресурсоэффективность	103
4.7 Вывод по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	104
5 Социальная ответственность	108
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	109
5.1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	109
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ...	110
5.2 Профессиональная социальная безопасность	110
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	110
5.3 Экологическая безопасность	118
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду....	118
5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	119
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	119
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	119
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	120
5.5 Выводы по разделу Социальная ответственность	121
Заключение.....	122
Список использованных источников.....	123
Приложение А.....	131

Графический материал: на отдельных листах

ФЮРА.421000.006 С1 Схема структурная

ФЮРА.421000.006 С2 Схема функциональная

ФЮРА.421000.006 ОЛ1 – ФЮРА.421000.002 ОЛ7 Опросные листы

ФЮРА.421000.006 ЗС Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

ФЮРА.421000.006 С4 Схема монтажная

ФЮРА.421000.006 Э4 Схема принципиальная электрическая

ФЮРА.421000.006 ПЭ Перечень элементов щита управления лабораторным
стендом дизельного ДВС

ФЮРА.421000.006 СБ Сборочный чертеж щита управления

ФЮРА.421000.006 СБС Спецификация щита управления лабораторным
стендом дизельного ДВС

Введение

АСУ ТП представляет собой организацию типа управления действующими производственными процессами, когда они интенсивно осуществляются с помощью человеческого фактора [1].

В современной экономике производственные процессы автоматизируются. Автоматизация является одним из основных направлений технического прогресса и дает возможность повысить эффективность установок и систем.

Автоматизация производственных процессов решается на основе использования сложных комплексов различных типов устройств [2,3]. К основным из них относятся устройства теплового контроля, телемеханики, технических сигналов, автоматического управления, автоматики управления, тепловой защиты, а также аппаратура связи и сигнализации.

Задача лабораторного ситуационного контроля дизельных двигателей внутреннего сгорания, предназначенных для воспламенения и сжигания капель дизельного топлива и биодизеля, получаемого из рапсового масла, заключается в поддержании постоянными или изменении различных физических величин по определенным законам [4]. В частности, такими величинами являются давление, температура, состав продуктов сгорания.

Автоматизация процессов воспламенения и сжигания капель нефтяного дизельного топлива и биодизеля, получаемого из рапсового масла, является одной из технологий, позволяющих снизить расход топлива, улучшить динамические характеристики горения, снизить техногенные выбросы.

Целью работы является разработка автоматизированной системы управления горением капель нефтяного дизельного топлива и биодизеля, получаемого из рапсового масла, в двигателе внутреннего сгорания, а также проведение комплекса экспериментальных исследований, включающих задачи апробации производства биодизеля, определения характеристик зажигания и горения нового и традиционного топлива для ДВС.

В рамках данной работы разработана АСУ процессом сгорания жидкого топлива, полученного из рапсового масла, в двигателе внутреннего сгорания.

Разрабатываемая системы должна обеспечивать контроль технических параметров процесса и возможность контроля процесса оператором.

1 Научно-исследовательская работа

1.1 Цель и задачи исследования

Топлива на основе нефти и ископаемого топлива ограничены по доступным объемам и стоимости. В ближайшие годы вопрос обеспечения двигателей внутреннего сгорания (ДВС) необходимыми топливными ресурсами станет еще более актуальным [5-7]. Увеличение выбросов выхлопных газов и цен на сырую нефть – это другие проблемы, требующие внимания при использовании дизельного топлива для ДВС.

Основные загрязняющие газы, такие как монооксид углерода, несгоревшие углеводороды и твердые примеси, влияют на здоровье людей, а также увеличивают загрязнение окружающей среды [8]. В связи с этими проблемами крайне важно найти альтернативное топливо для замены дизельного топлива, чтобы облегчить эти проблемы и бороться с изменением климата. Биодизельное топливо является одним из таких альтернативных видов топлива, которое извлекается из семян растений или биомассы в процессе трансэтерификации.

Биодизель – это возобновляемое топливо, не содержащее нефти, которое можно смешивать с дизельным топливом и использовать в двигателе с его модификацией или без нее. Из-за экологических проблем и социально-экономических соображений доля биотоплива в автомобильной промышленности быстро растет в течение 21 века [9,10].

Различные биодизели были использованы для выработки энергии в ДВС в качестве альтернативного источника энергии. Различные растительные масла, как пищевые, так и непищевые, используются в качестве источников для производства биодизельного топлива.

Исследователи со всего мира начали предлагать различные методы использования растительных масел в двигателях внутреннего сгорания. Эти

методы включают пиролиз, микроэмульгирование, прямое смешивание с дизельное топливо, переэтерификация и др. [11,12].

В рамках данного исследования экспериментально получены характеристики зажигания капель традиционного нефтяного дизеля и капель композиционного топлива с добавлением биодизеля. Изучена и апробирована в лабораторных условиях технология производства биодизельного топлива из рапсового масла. Данное направление является перспективным для диверсификации топливной базы, сохранения ресурсов полезных ископаемых и снижения экологической нагрузки.

Цель исследований: апробация методики получения биодизельного топлива из рапсового масла, экспериментальное определение характеристик зажигания и горения капель нефтяного дизельного топлива и полученного биодизельного топлива.

1.2 Анализ научно-технической проблемы

Потребление энергии в последние десятилетия существенно растет из-за быстрого роста уровня жизни человечества, увеличения объема производства и численности населения. В настоящее время ископаемое топливо как основной источник энергии играет важную роль для транспорта, промышленности и сельского хозяйства.

Между тем запасы нефтяных ресурсов в природе ограничены и с каждым днем они истощаются [13–15]. Кроме того, существующие экологические проблемы являются наиболее важными последствиями потребления большого количества ископаемого топлива. Проблемы энергетической безопасности и загрязнения окружающей среды заставили страны и исследователей искать альтернативные способы возобновляемого, а также экологически чистого топлива. Наиболее перспективной и экономически выгодной альтернативой является биотопливо [16,17]. Различные сектора ищут альтернативные виды топлива из-за энергетического кризиса и страха общества перед истощением невозобновляемых ресурсов

Земли. Среди различного сырья для альтернативных видов топлива предпочтение отдается биомассе, растительным маслам и их производным [18].

Исследователи со всего мира начали предлагать различные способы использования растительных масел для ДВС. Эти методы включают пиролиз, микроэмульгирование, прямое смешивание с дизельным топливом, переэтерификацию и т. д. [19,20]. Халдар и др. [21] протестировали масла Putranjiva, Jatropha и Karanja в двигателе Ricardo с воспламенением с регулируемой степенью сжатия, чтобы изучить и сравнить результаты рабочих характеристик и свойств выбросов. Было обнаружено, что непищевое масло ятрофы дает наилучшие результаты по производительности и выбросам при всех режимах нагрузки по сравнению с другими растительными маслами. Сараванан и др. [22] выполнили технико-экономическое обоснование использования сырого масла из рисовых отрубей в качестве заменителя дизельного топлива в двигателе с воспламенением от сжатия без каких-либо модификаций. Установлено, что тепловой КПД двигателя с маслом из рисовых отрубей немного меньше, чем при использовании традиционного дизельного топлива, но в результате его характеристики по выбросам лучше.

Нага Прасад и его коллеги [23] исследовали двигатель с воспламенением от сжатия, работающий на чистом касторовом масле и его смеси с дизельным топливом, и обнаружили, что рабочие характеристики снизились до показателей дизельного топлива. Но они также обнаружили, что концентрации выбросов увеличиваются при номинальной нагрузке по сравнению с дизельными двигателями. Кроме того, касторовое масло чистотой 25%, смешанное с дизельным топливом 75%, оказалось подходящей смесью для дизельного двигателя без предварительного нагрева и/или без каких-либо модификаций двигателя. Деерангај и др. [24-26] изучали характеристики одноцилиндрового дизельного двигателя с прямым впрыском топлива, работающего на биодизеле из пальмового масла и его смесей. В результате

были получены приемлемые тепловые КПД, а удельный расход топлива и температура отработавших газов оказались выше, чем на дизельном топливе.

1.3 Экспериментальный стенд и процедура приготовления биодизельного топлива

На рисунке 1.1 схематически изображены основные этапы обычного каталитического процесса производства биотоплива.

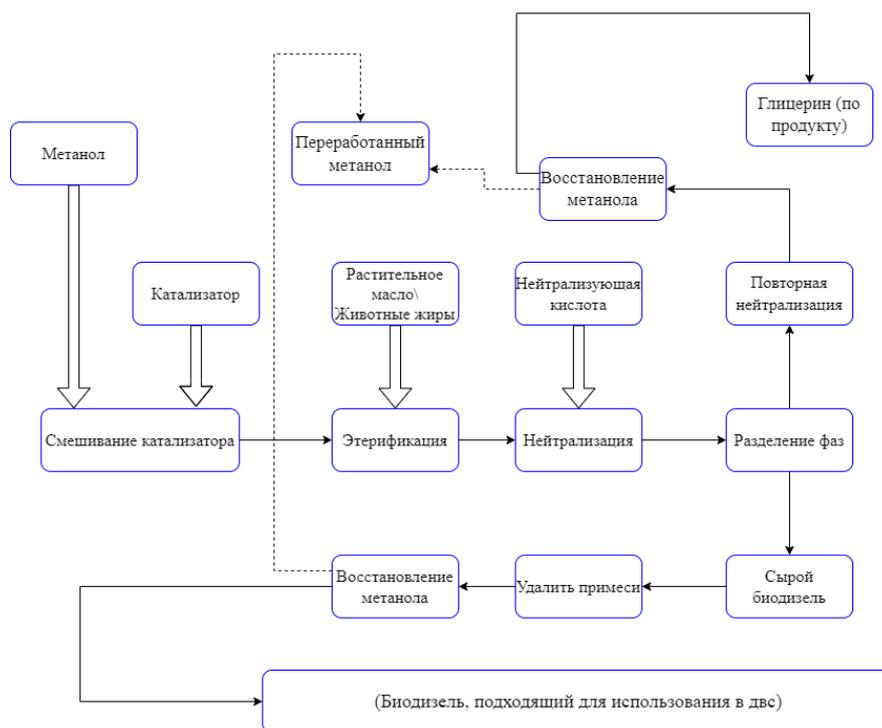


Рисунок 1.1 – Производство биодизельного топлива

Основным компонентом растительных масел являются триглицериды жирных кислот. Сам триглицерид представляет собой соединение трехвалентного глицеринового спирта, содержащего 3 жирные кислоты. При атмосферном давлении и температуре (50 °С) триглицериды этих жирных кислот и избыток метанола (этанола) реагируют в присутствии гидроксида калия (KOH), метилового (этилового) эфира жирных кислот и глицерина.

Для изготовления биотоплива методом этерификации изготовлен экспериментальный стенд (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Схема экспериментального стенда; 1 – стакан с терморубашкой; 2 – термометр; 3 – верхнеприводная мешалка; 4 – колонна фильтрации; 5 – сосуд для топлива; 6 – внешний контур криостата; 7 – криостат; 8 – сушильный шкаф; 9 – делительная воронка

Масло должно быть полностью слито (влажность менее 0,06%) и содержать не менее 0,5% жирных кислот во избежание образования мыла при щелочной конверсии. Масло наливается в стеклянную емкость 5 и прогревается в сушильном шкафу 8 СПУ ШС-80-0 (диапазон рабочих температур: + 50...+200 °С, отклонения температуры от заданной по объему камеры: ± 3 °С) при температуре 110 °С. При данной температуре происходит выпаривание воды, которая могла остаться при изготовлении масла на производстве. Нагретое масло, едкий калий и карбинол наливается в стакан с терморубашкой 1 (два контура – внешний и внутренний; объем внутреннего контура - 2 литра). К стакану 1 подключается внешний контур 6 криостата 7 КРИО-ВТ-12-01 (рабочая жидкость – Тосол А-40, диапазон рабочих

температур $-30\dots+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, точность поддержания температуры $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Жидкость циркулирует по внешнему контуру стакана с предустановленной постоянной температурой $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дополнительный контроль температуры во внутреннем контуре стакана осуществляется электронным лабораторным термометром LTA/C – В (погрешность $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $0\dots+100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Перемешивание рапсового масла, едкого калия и карбинола осуществляется верхнеприводной мешалкой 3 US-8100 (диапазон скорости вращения вала – $100 – 3000\text{ об/мин}$; точность поддержания скорости вращения – $\pm 2\%$) при заданной скорости вращения 650 об/мин . Нагрев при перемешивании помогает уменьшить долю воды в растворе и ускорить реакцию. Нагрев также необходим для уменьшения вероятности эмульгирования биодизеля и мыльной воды. Сажа и смола из ингредиентов мыла в камере сгорания могут вызвать засорение фильтра. Присутствие мыла увеличивает вязкость и желатинизацию. Избыток спирта, извлеченного из биодизеля, можно использовать повторно.

Время технологического процесса занимает 4 часа. Фильтрация и сепарирование топлива от побочных продуктов проводится делительной воронкой со сливным отверстием на дне 9 (объем – 2 литра) и колонной фильтрации 4. На рисунке 1.3 показана жидкость после этерификации.

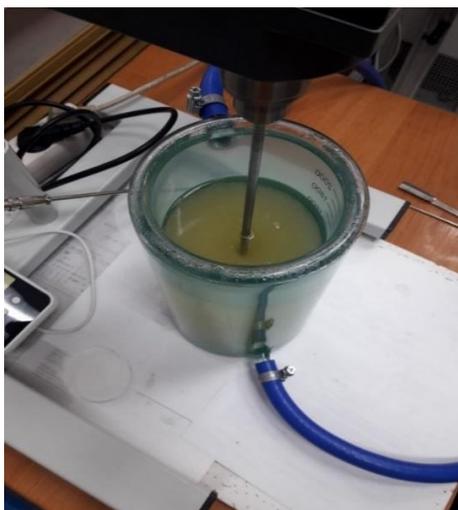
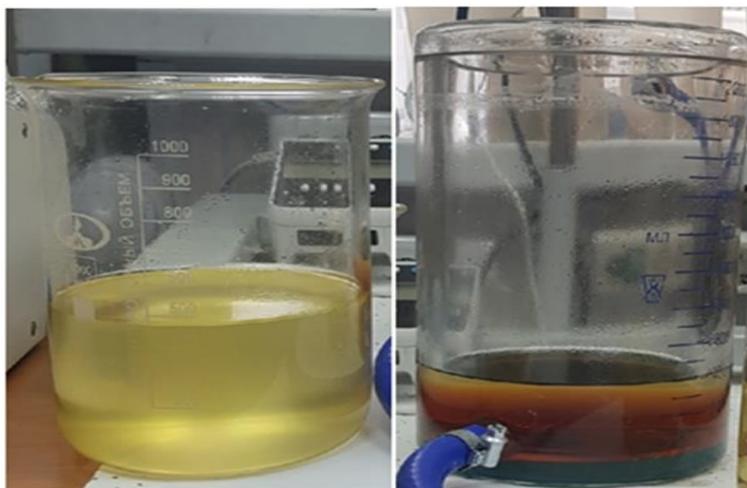


Рисунок 1.3 – Результат приготовления биотоплива

Следующим этапом является отделением биотоплива от глицерина (рисунок 1.4 а).



а)

б)

Рисунок 1.4 – Продукты после процесса этерификации: а) биотопливо; б) глицерин

После приготовления и сепарации, готовая жидкость переливается из стакана с терморубашкой в делительную воронку и отстаивается ней в течение 8 часов. После отстаивания в воронке жидкость разделяется на 2 слоя: верхний слой – неочищенное биотопливо (рисунок 1.4 а); нижний слой – глицерин (рисунок 1.4 б). Далее открывается кран сливного отверстия на воронке и глицерин начинает стекать в стеклянную емкость. Данный побочный продукт не используется в дальнейшей очистке, промывке, фильтрации. По итогу в делительной воронке остается только верхний слой – неочищенное биотопливо.

Следующим этап очистки биотоплива – промывка. Для этого в стакан с терморубашкой наливается водный раствор уксусной кислоты (1%) и неочищенное биотопливо в объёмном соотношении 1:1. Далее смесь перемешивается верхнеприводной мешалкой в течение 10 минут. Данного

времени хватает, чтобы нейтрализовать побочные продукты реакции при этерификации.

После промывки биотоплива, биодизель отделяется от водного раствора уксусной кислоты за счет разности плотностей (верхний слой жидкости – биотопливо, нижний слой – водный раствор с примесями). Далее следует промывка биодизеля дистиллированной водой. Это необходимо для удаления побочных продуктов, которые возникают при промывке водным раствором уксусной кислоты. Объемное соотношение воды и биотоплива 1:1.

За счет промывки водой в итоговой жидкости содержится недопустимое количество воды. Для выпаривания воды используется сушильный шкаф при температуре 110 °С. Исходное топливо выдерживается при данной температуре в течение 2 часов. Этого времени хватает, чтобы вся вода испарилась из биодизеля. Для удаления из сырого биодизеля калия, следов глицерина и воды применяют фильтры из PTFE (рисунок 1.5 а). Данный фильтр позволяет сепарировать основное топливо от воды за счет своих гидрофобных свойств. Присутствие воды в топливе отрицательно влияет на качество биодизеля. Данный тип элементов считается одним из лучших для стерилизующей очистки агрессивных жидкостей в различных областях. Он не растворяется ни в одном растворителе при комнатной температуре, поэтому мембраны из него изготавливают методом спекания порошков в смеси с жидкими компонентами. Пленку формируют экструзией или каландрированием. Рабочий диапазон рН – от 1 до 13. Диапазон рабочих температур для мембран из политетрафторэтилена PTFE составляет от -160 до 260 °С. PTFE мембраны наиболее целесообразно применять для микрофльтрации практически любых агрессивных неорганических жидкостей и растворов, а также очистки спиртов, кетонов, альдегидов, углеводов (в том числе галогенсодержащих), масел и органических растворителей. В случае приготовления биотоплива эти фильтры выбираются исходя из необходимости удаления частиц размером до 0,5 мкм.

Исходя из начально возможного объёма приготовления топлива – 200 мл, диаметр PTFE поверхности выбран 49 мм, пористость 0,22 мкм. Продукты реакции необходимо отделить от гомогенных катализаторов и побочных продуктов. Все эти факторы снижают рентабельность биодизельного топлива по сравнению с нефтяным дизелем.

После отделения 1-й стадии - глицерина от 2-й стадии - биотоплива, глицерин можно использовать для производства различных моющих средств. После глубокой очистки получают фармацевтический глицерин, который востребован в фармакологии. Добавляя фосфорную кислоту к техническому глицерину, можно получать фосфорные удобрения, которые применяются в сельском хозяйстве. Таким образом, увеличение производства высококачественного глицерина в процессе производства биодизельного топлива может снизить стоимость самого топлива. Для фиксации фильтров из PTFE (рисунок 1.5 а) была разработана фильтрующая колонна (рисунок 1.5 б).

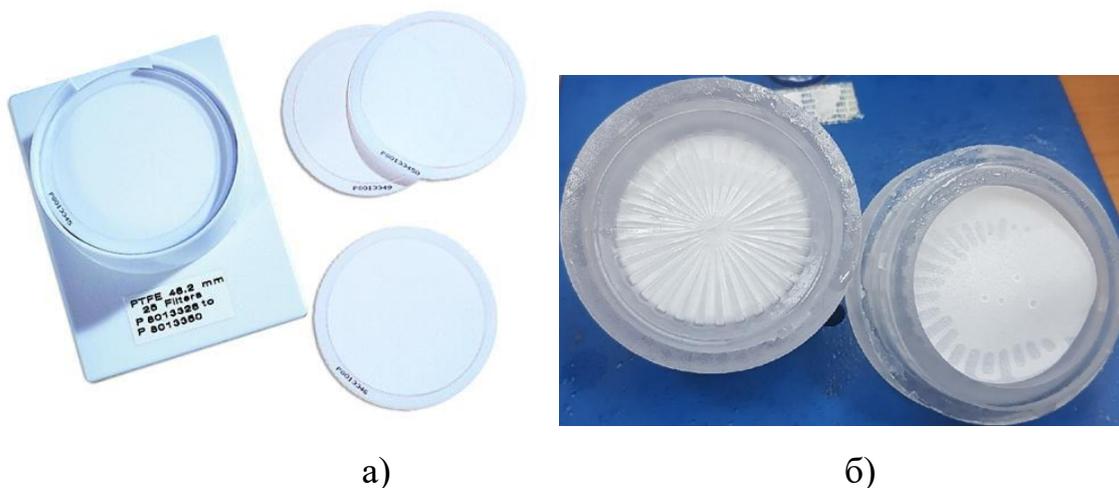


Рисунок 1.5 – Установка для фильтрации топлива: а) политетрафторэтилен (PTFE) фильтра; б) колонна фильтрации в разрезе



Рисунок 1.6 – Биодизель после фильтрации

1.4 Экспериментальные исследования

1.4.1 Компоненты топлив

Биодизель - это жидкое топливо, состоящее из метиловых или этиловых эфиров жирных кислот, полученных в результате перекрестной конверсии растительных масел, животных жиров и жиров микроводорослей [27, 28]. Основой растительных масел и животных жиров являются триглицериды (называемые также липидами или триацилглицеринами) - органические вещества, являющиеся продуктами этерификации карбоновых кислот и тригидрата триглицерина [29].

Таким образом, свойства биодизельного топлива будут определяться длиной цепи жирной кислоты и наличием в составе двойных связей.

Свойства биодизельного топлива во многом схожи со свойствами нефтяного дизельного топлива, но биодизельное топливо обладает многими преимуществами. Во-первых, биодизельное топливо является возобновляемым топливом, что особенно важно, учитывая текущее потребление ископаемого топлива.

Биодизельное топливо обладает хорошей смазкой, но практически не содержит серы и соединений серы. Смазка топливом необходима для предотвращения преждевременного износа деталей двигателя.

Биодизельное топливо имеет высокую температуру вспышки (не менее 120°C), что делает его безопасным при использовании и хранении. Важным показателем для дизельного топлива является цетановое число, а для биодизеля оно превышает 51, что означает возможность использования топлива без введения дополнительных пусковых присадок [30].

Жирнокислотный состав рапсового масла показан в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Жирнокислотный состав рапсового масла

Наименование жирной кислоты	Молекулярная масса, г/моль	Массовая доля, %
Тетрадекановая	228	0,2
Гексадекановая	256	2,5 – 7
Эйкозановая	312	0,2 – 1,2
Докозановая	340	0,6
Тетракозановая	368	0,3
Октадекадиеновая	280	15 – 30
Олеиновая	282	51 – 70
Октадекатриеновая	278	5 – 14

В таблице 1.2 показан состав биотоплива.

Таблица 1.2 – Компонентный состав биотоплива

Компонент	Массовая доля, %
Рапсовое масло	74
Метиловый спирт	25
Оксид калия	1

Таблица 1.3 – Основные составляющие рапсового масла [31]

Жирная кислота	Масса %
Моноглицериды	0.47
Диглицериды	0.68

Триглицериды	97.35
Другие	1.50

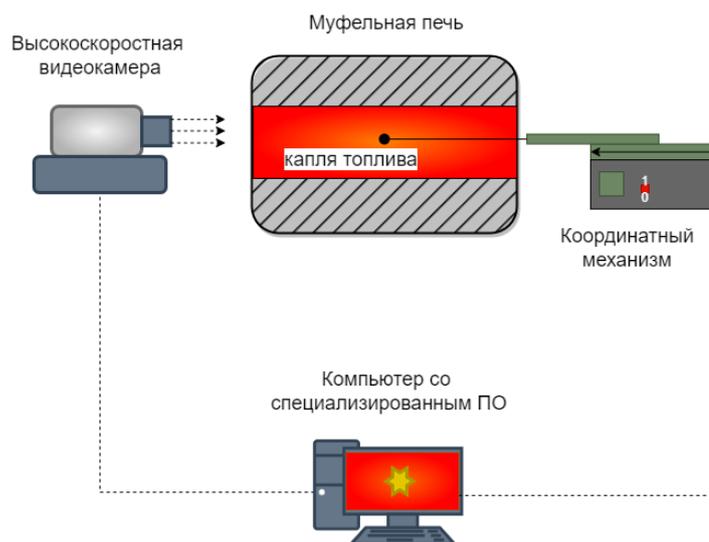
1.4.2 Экспериментальный стенд и методика определения характеристик зажигания и горения топлив

Муфельная печь Nabertherm R 120/500/13 является компактной трубчатой печью с интегрированными регулировочными устройствами, которая может применяться во множестве процессов. Печь стандартно оснащена рабочей керамической трубой и двумя волокнистыми пробками. Также в ней присутствует встроенная термопара для контроля температуры стенки муфеля. Основные технические характеристики используемой печи представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Характеристики муфельной печи Nabertherm R 120/500/13 [32]

Максимальная температура	1300 °С
Тип встроенное термопары	Платинородий-платиновая термопара (тип S)
Максимальная погрешность измерений термопары, °С	В диапазоне 600...1600 $\pm 0,0025$ Т

Экспериментальное определение характеристик зажигания и горения капель нефтяного дизельного топлива и биодизельного топлива, полученного из рапсового масла выполнено с использованием экспериментального стенда, схема которого приведена на рисунке 1.7.



а



б

Рисунок 1.7 – Схема (а) и внешний вид (б) экспериментального стенда

Методика определения характеристик зажигания и горения капель нефтяного дизельного топлива и биодизельного топлива, полученного из рапсового масла, включала несколько этапов. В керамической трубке муфельной печи температура воздуха задавалась в пределах 390...900°С. Данный температурный диапазон обеспечивает адекватное функционирование главных элементов стенда – муфельной печи без повреждения внутренних

элементов последних в результате высоких температур (керамической трубки печи). Защита внутренней трубы муфельной печи от длительного воздействия высоких температур осуществлялась путем помещения внутрь нее дополнительной трубки меньшего диаметра, изготовленной из жаропрочного материала. Отверстия, которые подача топлива в модельную камеру сгорания осуществлялась через боковое отверстие печи с помощью автоматизированного механизма.

В эксперименте использовалось топливо Б6, Б8, Б10, Б12 и дизельное топливо (рисунок 1.8). В трубе муфельной печи (внутренний диаметр 50 мм, длина 450 мм) создавалась высокотемпературная неподвижная воздушная среда (максимальная температура 1000 °С). Капля топлива (начальный диаметр ~2,8 мм), помещенная на керамическую подставку, вводилась в предварительно нагретую до температуры T_g печь с помощью координатного механизма.

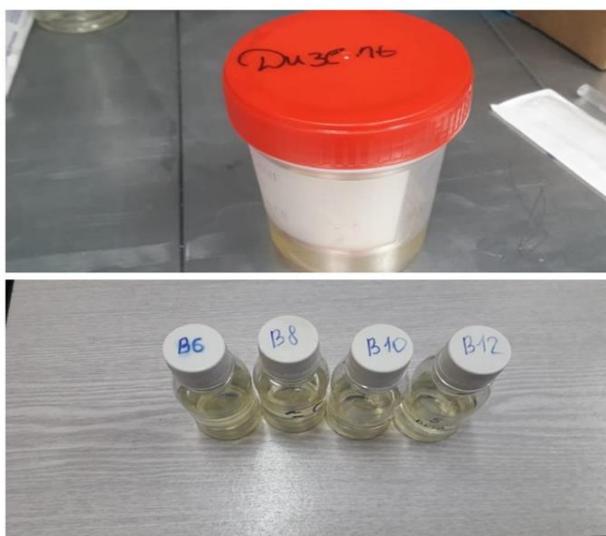


Рисунок 1.8 – Топливо, используемое в эксперименте

Скоростная видеокамера располагалась на подвижной платформе координатного механизма, поэтому капля топлива в течение всего эксперимента находилась в фокальной плоскости визира. Скорости входа (V_{in}) капель топлива в топку составляли 0,06, 0,08, 0,10 м/с. Этот фактор влияет на интенсивность подвода теплоты к топливу, скорость прогрева капли и как

результат – на характеристики исследуемого процесса. Чем выше значение V_{in} , тем быстрее частица топлива достигает область с температурой T_g . Гарантированное значение этой температуры поддерживалось в средней части муфельной печи. Капли указанного топлива сжигались при температурах (390...900 °С) и с помощью специализированной программы на компьютере определялось время сгорания капель топлива.

При проведении экспериментов регистрировались следующие характеристики: время зажигания (t_{delay}) капли топлива; минимальная температура зажигания.

При одинаковых начальных условиях ($T_g = \text{const}$, $V_{in} = \text{const}$) для каждого состава топлива была проведена серия из 3–5 опытов. Видеозаписи обрабатывали с помощью коммерческого пакета программ (Phantom Camera Control), включающего усреднение экспериментальных результатов.

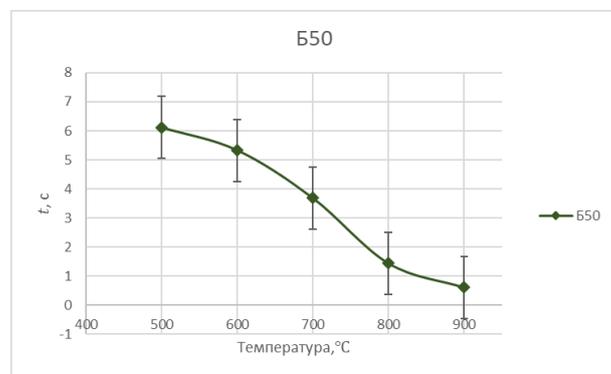
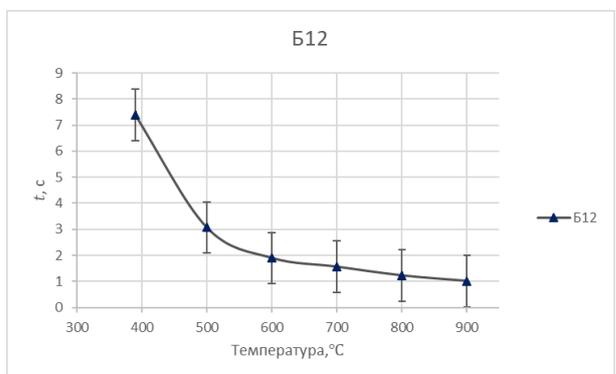
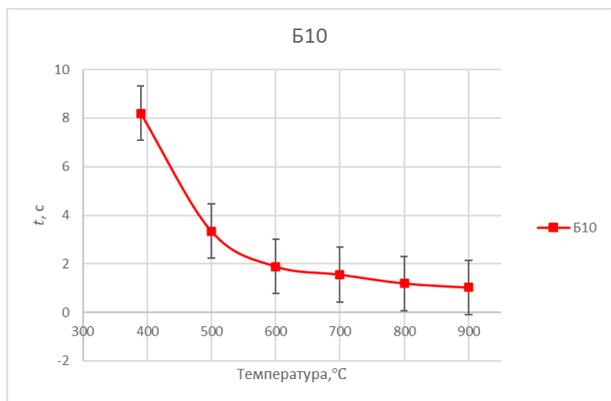
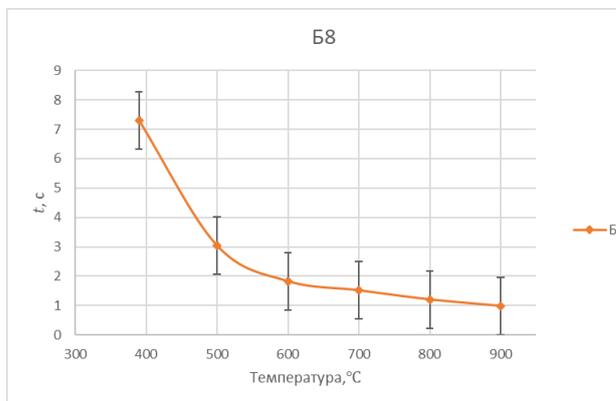
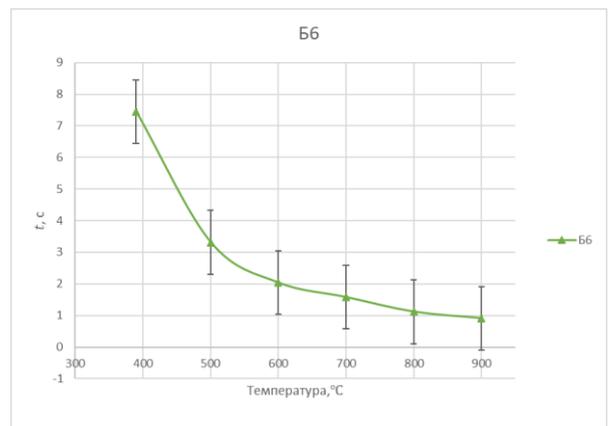
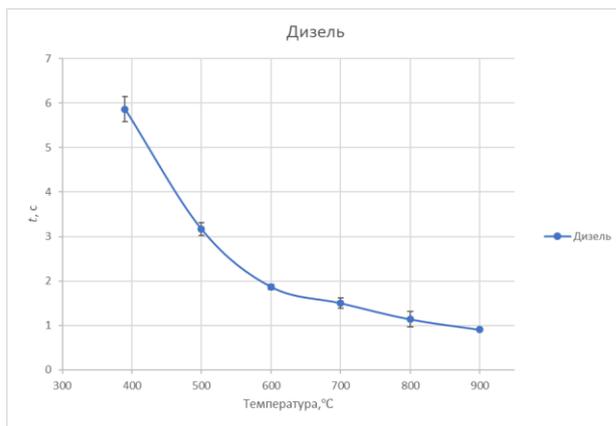
1.5 Результаты экспериментальных исследования

Результаты экспериментов по определению времени зажигания при сжигании топливных образцов в муфельной печи приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Зарегистрированные значения времени зажигания топлив

Время зажигания t_{delay} , с					
Температура в печи, °С	Дизель	Б6	Б8	Б10	Б12
390	5,866	7,451	7,301	8,194	7,395
500	3,164	3,314	3,043	3,344	3,07
600	1,868	2,034	1,825	1,894	1,897
700	1,501	1,575	1,515	1,558	1,561
800	1,137	1,115	1,205	1,197	1,227
900	0,905	0,906	0,984	1,027	1,015
Время зажигания t_{delay} , с					

Температура в печи, °C	Б50	Б75	Б100
500	6,117	5,868	5,642
600	5,332	5,204	5,032
700	3,690	3,551	3,283
800	1,444	1,329	1,480
900	0,611	0,634	0,830



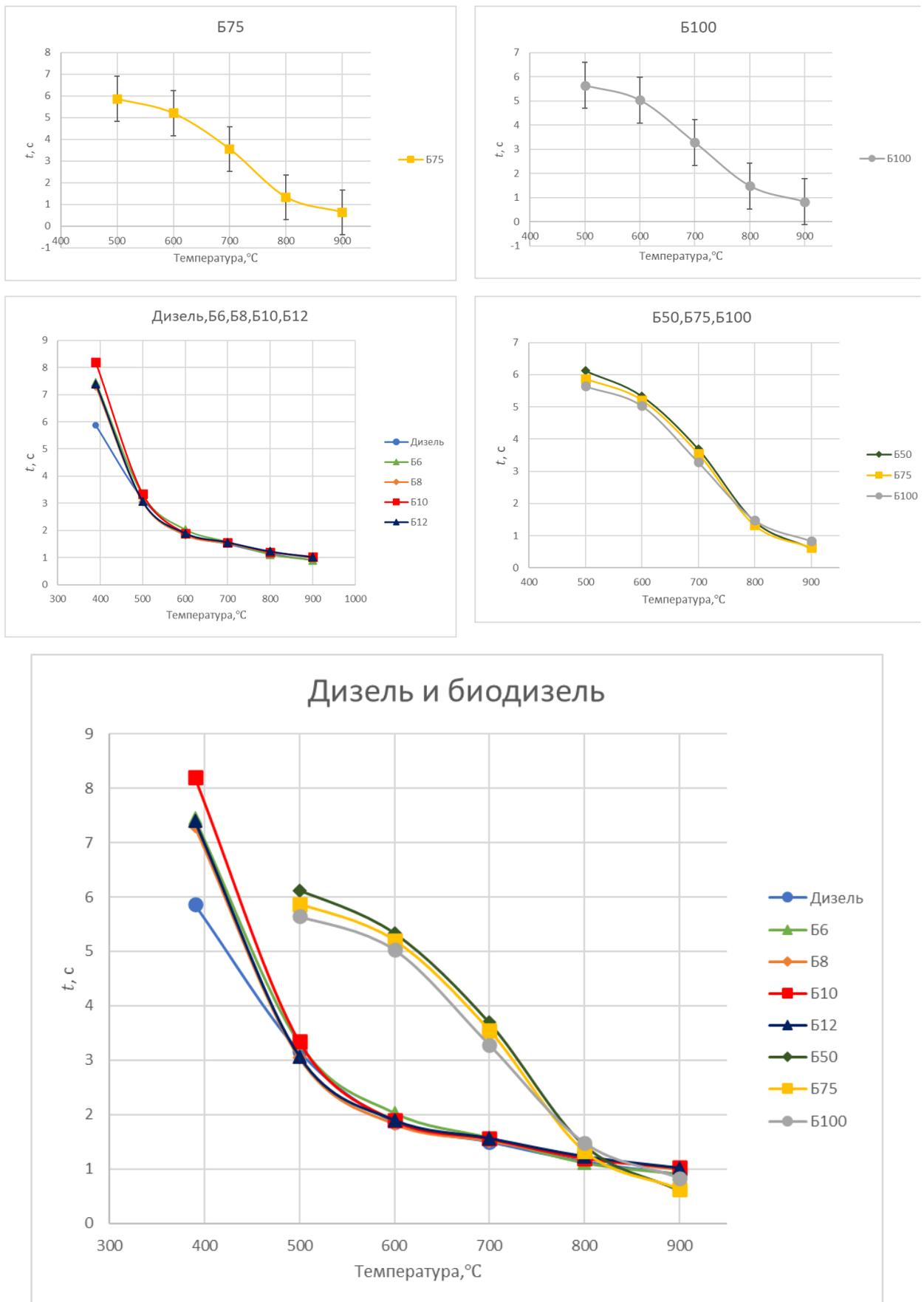


Рисунок 1.9 – Влияние температуры в камере сгорания на времена задержки зажигания капель дизельных топлив

1.6 Математическая обработка результатов

Расчет погрешностей измерений

Определим доверительный интервал для цикла эксперимента (рисунок 1.9).

Таблица 1.6 – Результаты прямых измерений для времен задержки зажигания биодизельной топлива Б12

Номер опыта	500 °С	600 °С	700 °С	800 °С	900 °С
1	2,853	1,982	1,6155	1,249	1,005
2	3,456	1,913	1,559	1,205	1,005
3	2,963	1,933	1,578	1,223	1
4	3,204	1,762	1,4985	1,235	1,012
5	2,874	1,741	1,5535	1,227	1,053

Рассмотрим порядок расчетов на примере значений, полученных при 500 °С.

Размах результатов измерений:

$$R_n = x_{max} - x_{min} = 3,456 - 2,853 = 0,603 \text{ с},$$

где x_{max} , x_{min} – наибольшее и наименьшее значение из серии измерений.

Математическое ожидание (среднее значение измеряемой величины):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 3.07 \text{ с},$$

где n – количество измерений в серии.

Дисперсия серии измерений:

$$D_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,065 .$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} = 0,25$$

Погрешность серии измерений определялась следующим образом:

Среднеквадратическая погрешность результата измерения:

$${}^n S_{\bar{x}}^2 = \sqrt{\frac{{}^n S^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} = 0,11.$$

Доверительный интервал:

$$\Delta x = t(\alpha, n) \cdot n S_{\bar{x}}^2 = 2,8 \cdot 0,11 = 0,308,$$

где $t(\alpha, n)$ - коэффициент Стьюдента, который зависит от количества измерений n и выбранного значения доверительной вероятности α .

Результаты математической обработки для всех топлив будут занесены в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Результаты математической обработки прямых измерений времен задержки зажигания для всех топлив

Дизель					
Температура в печи, °C	\bar{x}	D_x	σ_x	$n S_{\bar{x}}^2$	Δx
500 °C	3,164	0,014	0,118	0,053	0,148
600 °C	1,855	0,0022	0,047	0,0209	0,058
700 °C	1,501	0,007	0,083	0,04	0,112
800 °C	1,137	0,02	0,14	0,063	0,176
900 °C	0,905	0,00015	0,012	0,0055	0,0154
Б6					
500 °C	3,306	0,091	0,301	0,135	0,378
600 °C	2,035	0,015	0,122	0,054	0,151
700 °C	1,575	0,0055	0,074	0,033	0,0924
800 °C	1,115	0,010	0,1	0,045	0,126
900 °C	0,906	0,00085	0,029	0,013	0,036
Б8					
500 °C	3,043	0,075	0,273	0,061	0,1708
600 °C	1,825	0,04	0,2	0,089	0,249
700 °C	1,515	0,0075	0,086	0,038	0,106
800 °C	1,205	0,017	0,13	0,058	0,162
900 °C	0,984	0,000325	0,018	0,008	0,022
Б10					
500 °C	3,319	0,337	0,58	0,082	0,23
600 °C	1,895	0,0062	0,078	0,035	0,098
700 °C	1,558	0,0027	0,051	0,024	0,067
800 °C	1,197	0,0003	0,017	0,0077	0,021

900 °C	1,027	0,0015	0,038	0,017	0,048
Б12					
500 °C	3,07	0,065	0,25	0,11	0,308
600 °C	1,866	0,0115	0,107	0,048	0,134
700 °C	1,561	0,0017	0,041	0,018	0,0504
800 °C	1,228	0,00025	0,015	0,007	0,0196
900 °C	1,015	0,00045	0,021	0,009	0,0252
Б50					
500 °C	6,117	0,0125	0,112	0,05	0,14
600 °C	5,332	0,027	0,164	0,073	0,204
700 °C	3,69	0,0725	0,269	0,12	0,33
800 °C	1,444	0,0045	0,067	0,03	0,084
900 °C	0,611	0,003	0,054	0,025	0,07
Б75					
500 °C	5,868	0,008	0,089	0,41	0,114
600 °C	5,204	0,0004	0,02	0,0097	0,027
700 °C	3,551	0,0075	0,086	0,038	0,108
800 °C	1,329	0,003	0,054	0,025	0,071
900 °C	0,634	0,0085	0,092	0,041	0,115
Б100					
500 °C	5,642	0,0036	0,06	0,027	0,075
600 °C	5,032	0,0024	0,0489	0,0221	0,061
700 °C	4,083	0,088	0,296	0,132	0,371
800 °C	1,480	0,004	0,063	0,028	0,079
900 °C	0,830	0,0006	0,025	0,011	0,031

Аналогичная обработка была проведена над всеми полученными результатами задержек зажигания.

1.7 Выводы по результатам экспериментальных исследований

Установлено, насколько увеличение температуры влияет на снижение времени зажигания капель топлив разных составов.

По результатам исследований, представленных в таблице, можно сделать следующие выводы:

1. Капли дизельного топлива зажигаются при температуре 390°C за более короткое время, чем другие виды топлива, но при повышении температуры (900°C) время зажигания капель дизельного топлива (отличия не превышали 8–13%) времени зажигания капель других видов топлива.
2. Равенство времени зажигания капель топлив для разных видов топлива при повышении температуры указывает на возможность использования биодизеля в двигателях внутреннего сгорания, работающих при высоких температурах.
3. Результаты показывают, что топливом с самым коротким временем задержки зажигания капель при 900°C является биодизельное топливо Б50.
4. Биодизель можно использовать в любом дизельном двигателе практически без изменений, и он безопаснее обычного дизельного топлива.
5. Использование биотоплива снижает процент газов, загрязняющих окружающую среду, сокращает потребление ископаемого топлива и развивает использование альтернативных видов топлива и экологически чистых источников энергии.

Время задержки зажигания при 500 °C для капель чистого дизеля отличается от капель смесового топлива (Б6) на 4,74 %.

С повышением температуры в муфельной печи уменьшается процентная разница между временем задержки зажигания капель чистого дизельного топлива и капель смешанного топлива. Наилучший результат был при смесевом топливе Б50 дизельного топлива при температуре 900 °С, так как сгорает за меньшее время, чем другие виды топлива, и это топливо подходит для сжигания в двигателях внутреннего сгорания, тем более что они работают при высоких температурах. Повышение температуры в печи приводило к более быстрому горению, т.е. сгоранию топлива за меньшее время, чем горение при более низких температурах, и что повышение температуры приводило к повышению эффективности и качества горения для все видов топлива.

2 Разработка системы автоматического управления сжиганием топлива

2.1 Системный анализ объектов автоматизации

Объектом автоматизации в данной работе является лабораторная платформа дизельного двигателя внутреннего сгорания, предназначенного для сжигания топлива. На рисунке 2.1 показана схема экспериментального стенда. Этот стенд разработан на основе существующего прототипа экспериментального стенда [33]. Основным из них является ДВС марки Kirloskar. Этот двигатель представляет собой одноцилиндровый четырехтактный двигатель с воспламенением от сжатия и непосредственным впрыском топлива.

Дизельные двигатели существенно отличаются от бензиновых двигателей конструкцией, принципом работы и способом работы. Поскольку дизельный двигатель не имеет свечи зажигания, воспламенение топливовоздушной смеси происходит от сжатия. В этом случае воздух и топливо подаются в камеру сгорания отдельно с помощью инжектора. Следует также отметить, что без системы сжатия, используемой для улучшения производительности агрегата, современные дизельные двигатели практически не выпускаются. Турбонагнетатели с изменяемой геометрией

используются для оптимизации наддува в самом широком диапазоне скоростей. Дизельные агрегаты более эффективны и генерируют больший крутящий момент при меньших оборотах в минуту, чем обычные бензиновые двигатели с аналогичными характеристиками.

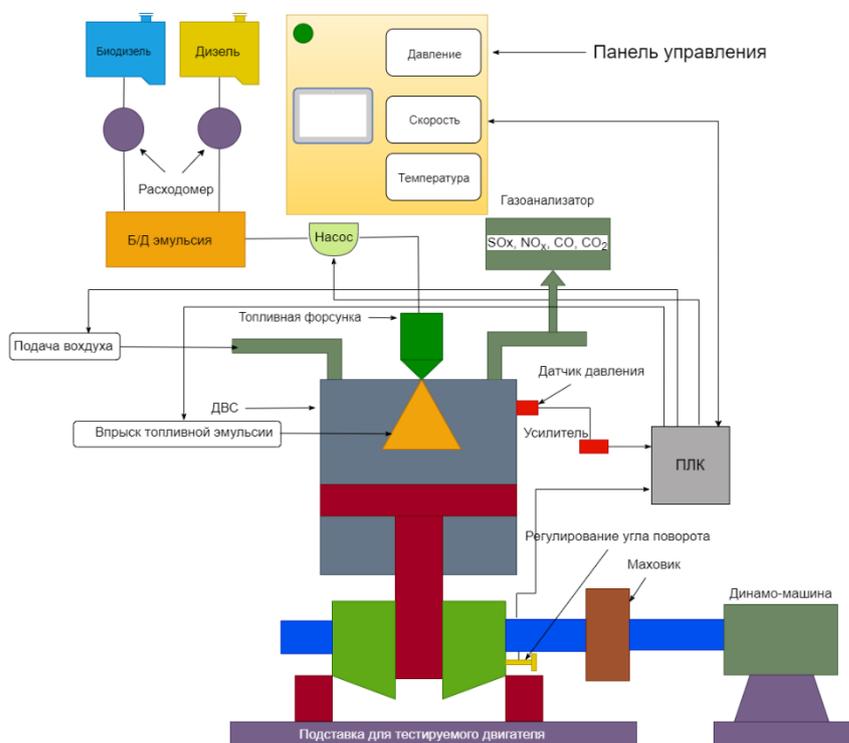


Рисунок 2.1 –Схема экспериментального стенда на базе дизельного двигателя внутреннего сгорания, предназначенного для сжигания жидкого топлива [33]

Рабочий цикл лабораторного комплекса состоит из этапов. На первом этапе в пустые баки заливают дизельное топливо и биодизель до заданного уровня. С помощью датчиков расхода, а также программируемого логического контроллера (ПЛК) определяются пропорции компонентов топливных капель. Оператор определяет эти пропорции компонентов и в лаборатории получает эмпирические значения для разных режимов работы. Далее смесь, приготовленная из двух компонентов, смешивается в смесительной камере с помощью ультразвуковой ванны. Полученную топливную смесь стабилизируют с помощью эмульгаторов, которые заранее добавляют либо к горючему компоненту, или по соотношению компонентов к инертному химическому компоненту.

По специальным каналам подачи жидкости и сопловому устройству подготовленная топливная смесь поступает в камеру сгорания ДВС.

Топливная смесь воспламеняется в камере сгорания, а продукты сгорания топлива удаляются посредством нагнетательной системы. Газоанализатор используется для анализа концентрации вредных выбросов.

Основные характеристики двигателя-прототипа приведены в таблице 2.1. Путем измерения перепада давления, зарегистрированного датчиком перепада давления, синхронизированным с цифровым электронным управлением, определяется массовый расход воздуха. Число оборотов вала двигателя рассчитывается на основе показаний датчика частоты вращения. С помощью расходомера определяется и контролируется расход топлива. С помощью термопары измеряется температура в камере сгорания. С помощью газоанализатора контролируется состав дымовых газов и вредные выбросы.

Таблица 2.1 – Характеристики двигателя

Описание	Одноцилиндровый, четырехтактный двигатель с непосредственным впрыском топлива
Марка	Kirloskar AV-1
Тип охлаждения	Водяное
Рабочий объем двигателя	554 см ³
Номинальная частота	25 об/с
Номинальная мощность	3,7 кВт
Диаметр отверстия форсунки	0,3 мм 3 отверстия
Диаметр цилиндра	80 мм
Давление впрыска	200 бар
Коэффициент сжатия	16:1
Высота цилиндра	110 мм

В различных точках установлены датчики температуры и давления для контроля параметров системы. Датчик температуры выхлопных газов и датчик температуры смазки выхлопной системы измеряют температуру на выходе и на входе в систему водяного охлаждения и камеру сгорания. Взаимное резервирование датчиков реализовано для повышения надежности системы.

Для измерения давления впрыска топлива и измерения давления внутри цилиндра двигателя датчик давления устанавливается непосредственно на двигатель внутреннего сгорания. Через программируемый логический контроллер, отображающий информацию о технологическом процессе, на рабочее место оператора поступают сигналы от всех датчиков, а это необходимо оператору для контроля за ходом технологического процесса.

Задача автоматического управления лабораторным стендом дизельного двигателя внутреннего сгорания в основном сводится к необходимости поддержания материально-энергетического баланса в установившихся и переходных режимах.

Основное назначение двигателя внутреннего сгорания – является обеспечение соответствующей среды для процесса сжигания топливных капель, а также снижение энергетических затрат на стадиях нагрева, испарения и сжигания топливных капель.

Топливо поступает в специальную емкость, в которой поддерживается постоянная концентрация химически инертного и горючего компонента при сохранении стабильности топлива. Далее подготовленное топливо поступает в форсунку по топливопроводу.

Информация о соотношениях концентраций дизельного и биодизельного топлива поступает от датчиков расхода. На уровне ПЛК происходит выработка управляющих воздействий на основе заданных коэффициентов концентраций. Коэффициенты концентрации задаются и контролируются оператором и регулятором. Чтобы двигатель не работал без топлива, в баке с биодизелем и дизтопливом установлены датчики уровня. Также при подаче в ДВС необходимого топлива подача воздуха контролируется датчиком массового расхода воздуха.

2.2 Разработка структуры КТС АСУ

2.2.1 Определить перечень функций, архитектуры и состава КТС АСУ

Функции системы автоматического управления обширны и определяются индивидуально для определенных объектов автоматизации. Все функции АСУ ТП делятся на 3 категории: управляющие, информационные и вспомогательные функции.

Информационные функции лабораторного стенда АСУ ДВС включают в себя сбор технических параметров и информации о состоянии оборудования, контроль технических параметров надежности оборудования, соблюдения технических регламентов и достижения аварийных уставок, косвенное измерение параметров, математическая обработка сигналов измерений; передача и прием информации между АСУ ТП (контроллерами,

распределенными станциями, инженерными рабочими местами, серверами); световая и звуковая сигнализация в пользовательском интерфейсе – удобный формат архивация информации о ходе технологического процесса и нарушениях техрегламентов, аварийных случаях.

К управляющим функциям системы автоматического управления дизельным двигателем внутреннего сгорания лабораторного стенда относятся: реализация оптимального режима работы каждого технического узла; стабилизация параметров (давление, температура, уровень); программный контроль изменения технических параметров (в соответствии с заданной динамикой изменения температуры горения топлива в камере сгорания); логическое управление работой оборудования (при достижении определенного уровня воды в баке, содержащем топливо, срабатывает питательный насос, который необходимо отключить); запуск и остановка отдельных узлов и всей производственной линии; аварийное отключение (например, для прекращения подачи топлива в ДВС при достижении критической температуры); формирование рекомендаций оператору по управлению технологическим процессом.

Дополнительные функции АСУ ТП заключаются в управлении работоспособностью аппаратных и программных средств системы автоматизации. Блоки управления, распределенные терминалы, панели оператора, инженерные станции и системы SCADA содержат средства диагностики.

На рисунке 2.2 представлена структура системы автоматического управления лабораторным стендом дизельного ДВС.



Рисунок 2.2 – Лабораторный стенд по разработке систем автоматического управления дизельным двигателем внутреннего сгорания

На нижнем уровне АСУ находится преобразователь, от которого можно получить информацию о физических параметрах процесса. Основными параметрами контроля являются расход воздуха, расход топлива (дизель), давление, оксиды серы, оксиды азота, диоксид углерода, концентрация диоксида углерода в выхлопных газах, температура, уровень в баке дизельного топлива. Средний уровень основан на ПЛК. На верхнем уровне находятся средства вывода/ввода, хранения и отображения информации. Основной сервер для хранения информации о процессе находится на верхнем уровне. Информация о параметрах процесса дублируется, что обеспечивает более надежную работу оборудования. Также для большей достоверности с помощью многочисленных датчиков (2...3 шт.) регистрируются наиболее важные параметры измерения (давление и температура).

Первичные измерительные приборы, датчики технических параметров, устройства местного управления и сигнализации должны располагаться на техническом устройстве или рядом с ним, на приборной панели или в приборном шкафу.

Датчик, установленный на приборной панели в отапливаемом помещении и в отапливаемом шкафу для инструментов, должен

соответствовать типу климатической модуляции в соответствии с ГОСТ 15150-69* УХЛ4 [34].

Датчик давления должен выдерживать значение, более чем в 1,5 раза превышающее верхний предел, с сохранением работоспособности. Конструкция датчика должна обеспечивать калибровку и верификацию измерительных каналов.

Технические средства среднего уровня должны обеспечивать: сбор информации с преобразователей сигналов нижнего уровня; фильтрацию, линеаризацию и масштабирование входных аналоговых сигналов; автоматическое управление и контроль оборудования; передача информации и статуса оборудования на верхний уровень системы автоматизации.

На верхнем уровне должны быть предусмотрены: получение и отображение информации среднего уровня; наблюдение и оперативное управление процессом; архивирование событий нижнего уровня и действий оператора; мониторинг и управление работой через каналы связи.

Рабочие станции могут получать доступ к данным и системным функциям, таким как запуск и остановка приложений, отправка управляющих и регулирующих команд, а также ввод значений и свойств сигналов.

Все функции более низкого уровня включены в самом высоком уровне доступа. Перед началом работы каждый пользователь системы должен зарегистрироваться под своим собственным паролем.

Из системы безопасности серверная и клиентская части интегрируются в систему безопасности операционной системы, а учетные записи пользователей операционной системы хранятся в самой операционной системе.

Ethernet используется для передачи данных между уровнями, основной и резервный каналы передачи данных используют разные кабели, подходящие для разных устройств связи.

Технические средства систем автоматического управления относятся к особой группе силовых устройств первой категории по надежности источника

питания. Блок питания должен быть подключен к сети переменного тока напряжением 220 плюс 22 вольта частотой 50 плюс 0,4 Гц. Двухсекционное электроснабжение обеспечивается АВР.

2.2.2 Разработка структурной схемы измерительного канала КТС на лабораторном стенде дизельного двигателя внутреннего сгорания

В этом разделе была разработана типичная структурная схема канала для измерения температуры, расхода, уровня, давления и концентрации.

На рисунке 2.3 показана соответствующая упрощенная структурная схема каналов измерения.



Рисунок 2.3 – Упрощенная структурная схема каналов измерения: температуры; давление; расхода; уровень; концентрации газа/пара; положения

По ГОСТ 23170 [35] сохранение работоспособности после воздействия механических факторов, возникающих при транспортировке; Сохранять работоспособность при относительной влажности 75% и температуре выше 30°C; работающие при температуре окружающего воздуха от 5 плюс до 40 градусов Цельсия; Прибор измерительного канала должен быть антивибрационным; Измерительный канал устойчив к воздействию постоянных или переменных внешних магнитных полей по ГОСТ Р 50648-94 при частоте сети до 400 А/м [36], выдержав испытания третьего класса натяжения по ГОСТ Р 51317.4.4-2007 [37]. Основная безопасность электрической цепи (нижний участок - средний уровень системы управления).

Провод, соединяющий шину с клеммной колодкой для подключения микросхемы, необходимо разместить в отдельном лотке и закрыть крышкой, входящей в лоток. ИВС должен быть промаркирован на крышке лотка; Необходимо «расщепить» сигнал, поступающий от измерительного преобразователя, на промежуточный уровень.

2.2.3 Проектирование и разработка АСУ лабораторным стендом для дизельных двигателей

- Общие сведения

Настоящее техническое задание установлено на проектирование АСУ лабораторным стендом дизельного двигателя внутреннего сгорания. Лабораторная платформа предназначена для исследования горения капель топлива в двигателе внутреннего сгорания. В основе системы автоматического управления лежит управляющее устройство – ПЛК.

- Назначение

Управление процессом подачи и горения капель топлива: автоматический режим (ПЛК), режим контроля оператором (установочный сигнал подается в ПЛК с АРМ).

- Требования ТСА нижнего уровня автоматизации

Конфигурация нижнего уровня АСУ ТП включает в себя первичные преобразователи, датчики, а также локальные устройства сигнализации и управления, которые должны располагаться на технологическом оборудовании или вблизи него, в приборных шкафах или на приборных панелях.

Датчики, устанавливаемые на инструментальных стеллажах в отапливаемых помещениях и в отапливаемых инструментальных шкафах, должны соответствовать типу климатической модуляции по ГОСТ 15150-69* класс УХЛ4 [38].

- Требования к ТСА среднего уровня автоматизации

На среднем уровне технические средства представляют собой сложный комплекс программно-аппаратных средств (устройства, осуществляющие связь с объектами и микропроцессорными контроллерами).

Технические средства среднего уровня должны обеспечивать следующие функции: сбор информации от датчиков; ; фильтрация входного аналогового сигнала, линеаризация, масштабирование; автоматический мониторинг и управление; передачу информации оборудование, передающее информацию о состоянии на более высокие уровни автоматизации.

БРУ используется для обхода микропроцессорной автоматики и подачи команд аварийного отключения.

Система световой сигнализации должна быть предусмотрена как часть БРУ:

Состояние высоковольтных выключателей (выключено, включено); положение клапанов (закрыто, открыто).

Шкаф должен содержать полный набор устройств (центральный процессор (основной и запасной), блок управления связью центрального процессора, модуль ввода-вывода, модуль электропитания, блок питания, сетевое оборудование и т.д.). УСО должно изготавливаться по принципу блочно-модульного, что позволяет изготавливать необходимое оборудование в соответствии с решаемой задачей.

- Требования ТСА для верхнего уровня автоматизации

Верхний уровень АСУ ТП должен обеспечивать возможность получения и отображения информации от среднего уровня, мониторинга технических процессов и оперативного контроля.

Все рабочие места должны быть обеспечены в комплекте с системным, офисным и прикладным программным обеспечением.

На верхнем уровне предоставляется одна рабочая станция и один сервер.

- Требования к метрологическим характеристикам

Средства измерений, входящие в состав измерительного канала, должны быть заранее проверены или откалиброваны. Они зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений. Получение аттестата аккредитации на вид методов измерений и поверки, регламентированного приложением к настоящему аттестату и оформленного в соответствии с действующими стандартами и правилами.

К каналам измерения стандартных метрологических характеристик относятся входные каналы от измерительных преобразователей с равномерными сигналами тока 4...20 мА, входные каналы подключения термопар сопротивления, аналоговые выходные каналы 4...20 мА.

- Требования к надежности

Стенд для испытаний дизельных ДВС представляет собой сложный объект с несколькими каналами и функциями. Вероятность безотказной работы по ГОСТ 27889-88 [39] по каждой функции с учетом резервирования в цепях должна быть не менее 2000 ч.

- Требования к ПО

Программа должна обеспечивать выполнение всех системных требований, а программа должна сопровождаться пакетом документов, допускающих техническую модификацию алгоритма программы на этапе ввода в эксплуатацию и промышленной эксплуатации. Программное обеспечение должно выполнять логические и математические операции для выполнения функций сбора, хранения, управления, обработки, передачи и представления данных.

2.2.4 Разработка структурной схемы системы автоматического управления КТС на основе микропроцессорной техники

В этом разделе разрабатывается структурная схема системы автоматического управления КТС, основанной на микропроцессорной технологии. Разработанная структурная схема приведена на листе ФЮРА 421000.006 С1.

Комплекс технических средств включает в себя следующие технические средства: датчик измерительного объекта и устройство связи (УСО), автоматизированное рабочее место оператора, серверный щит, распределительный щит панели визуализации.

Нижний уровень оснащен измерительными датчиками параметров, такими как температура, давление, расход, положение, уровень. На среднем уровне находится УСО, в состав которой входит программируемый логический контроллер. Серверная панель, место оператора и панель визуализации части. Коммутатор используется для связи между средним и верхним уровнями автоматизации. Вся информация о ходе процесса хранится на сервере. Связь между уровнями прокладывается с помощью специального кабеля.

2.2.5 Оценка погрешности измерительного канала

Измерительный канал автоматизированной системы может включать в себя несколько измерительных устройств различных типов, таких как датчики, преобразователи, аналоговые и специализированные модули ввода-вывода [40]. Желательно экспериментально определить погрешность такой системы [41], но не всегда это возможно. В таких случаях применяется метод расчета.

Основными данными для расчета погрешности измерительного канала являются [42]: измерительные характеристики прибора, систематическая погрешность; влияющие факторы (например, температура окружающей среды и влажность); характеристики измеряемого сигнала.

Следующая формула используется для определения нормального закона распределения случайных составляющих погрешности от нормализованного значения: $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2}$.

В таблицу 2.2 сведены основные погрешности измерительных каналов согласно структурной схеме.

Таблица 2.2 – Основные погрешности измерительных каналов

Погрешность	Измерительный канал
- $\sigma_{\mu} = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}, \sigma_H = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}$	- Расход, уровень
- $\sigma_{\gamma} = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}, \sigma_S = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}$	- Концентрация, положение
- $\sigma_T = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}, \sigma_P = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}$	- Температура, давление

2.3 Разработка функциональной схемы системы управления

В данном разделе разрабатывается функциональная система (система автоматизации) автоматизированной системы управления на базе микропроцессорной техники. Отметим, что в верхней части функциональной схемы показан конкретный технический объект, начальный выключатель измеряемых технических параметров и запорная арматура, в нижней части функциональной схемы - трансформаторы, установленные на объекте, и

компьютеры, установленные на разных объектах. Схема представлена на листе ФЮРА.421000.006 С2.

Основной техникой документ, определяющий структуру и характер АСУ, а также ее оборудование и средства автоматизации [43, 44], называется функциональной схемой.

Для разработанной функциональной схемы лабораторного стенда ДВС необходимо решить следующие задачи:

- 1) сбор предварительной информации;
- 2) собирать информацию о состоянии оборудования;
- 3) собирать информацию о регистрируемых параметрах и операциях;
- 4) Собрать информацию о работе устройства.

На функциональной схеме устройство обычно изображается в упрощенном виде.

Управляющие и запорные клапаны указывают только то, что необходимо для работы системы автоматизации, а также для размещения первичного измерительного датчика.

При создании функциональной схемы необходимо сначала определить каналы измерения (1-10, 12, 15) и каналы управления (11, 13, 14, 16).

Канал 1 используется для измерения температуры двигателя, канал 2 — для измерения температуры в системе охлаждения и температуры масла в смазке, канал 3 — для измерения температуры выхлопных газов, а канал 4 — для измерения температуры в помещении. И измерительный канал используется для измерения давления впрыска топлива и давления двигателя внутреннего сгорания 5. Измерительный канал 6 используется для измерения расхода топливной смеси, а канал 7 используется для измерения расхода воздуха. Расход топливной смеси регулируется измеряемыми температурами. Канал 8 используется для получения информации об уровне топлива в баке. Канал 9 предназначен для измерения концентрации вредных выбросов (диоксид углерода, окись углерода, оксиды серы и азота) в выхлопной трубе двигателя внутреннего сгорания. Для регистрации положения вала двигателя

внутреннего сгорания используется измерительный канал 10. Информация о контролируемых параметрах подается на контроллер в виде равномерного токового сигнала силой 4-20 мА. Микропроцессорный блок управления формирует отдельный управляющий сигнал, который подается на пусковое устройство, сигнал усиливается и запускается электродвигатель исполнительного механизма. Каналы 12, 15 передают информацию о работе заслонок на микропроцессорный контроллер. Каналы 13 и 14 используются для управления топливным насосом и нагнетателем воздуха.

В этой части изображены приборы на месте, пускатели и панель управления. ПЛК установлен в панели управления. Сигналы, принимаемые блоком управления, также передаются на пульт управления для формирования управляющих действий и предотвращения аварийных ситуаций. Технологическое оборудование показано на функциональной схеме по ГОСТ 21.403-80 [45], обозначения запорной арматуры - по ГОСТ 2.785-70 [46], элементарные и функциональные средства измерений - по ГОСТ 21.208-2013 [47].

2.4 Составление опросных листов на приборы и средства автоматизации

Этот раздел содержит обзоры для ТСА среднего, нижнего и верхнего уровней автоматизации. Все опросные листы представлены на листах ФЮРА.421000.006 ОЛ1 - ФЮРА.421000.006 ОЛ7.

Опросный лист формируется по данным производителя оборудования и выпускается в виде еще одной версии под названием «Опросный лист-опросник». Разработке изделия предшествует получение или разработка и согласование предварительных технических требований (заявки) с заказчиком с заключением договора (контракта) на выполнение работ [48].

Исходные технические требования к разным типам оборудования должны соответствовать содержанию анкеты. Требования включают в себя такую информацию, как название объекта, требования государственного

надзорного органа, разрешения, ограничения по размерам, перечни отраслей промышленности; размеры; диапазон измерений; характеристики мер и весов и контролируемых переменных окружающей среды; методы монтажа и т.д.

2.5 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации

2.5.1 Составление спецификации ТСА

Этот раздел содержит спецификации ТСА нижнего, среднего и верхнего уровней автоматизации. Технические характеристики представлены листе ФЮРА.421000.006 ЗС.

Спецификация оборудования, изделий и материалов – текстовый проектный документ, определяющий состав оборудования, изделий и материалов [49].

Спецификацию оборудования, изделий и материалов составляют ко всем основным комплектам рабочих чертежей. В спецификацию включают все оборудование, изделия и материалы, предусмотренные рабочими чертежами соответствующего основного комплекта. Спецификацию, как правило, составляют по разделам (подразделам), состав которых и последовательность записи в них оборудования, изделий и материалов устанавливаются соответствующими стандартами. В спецификацию не включают отдельные виды изделий и материалы, номенклатуру и количество которых определяет организация, исходя из действующих технологических и производственных норм [49].

2.5.2 Выбор технических средств автоматизации

Система управления теплотехническими параметрами должна проектироваться на основе современных средств автоматизации. Также АСУ должна обладать высокой надежностью. Предпочтение должно отдаваться

унифицированным системам с однотипными техническими средствами, обеспечивающими взаимозаменяемость, простоту сочетания друг с другом и удобство компоновки на щитах.

Важными параметрами при выборе первичных измерительных преобразователей являются: диапазон измерений и характеристики выходного сигнала. Также необходимо ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций.

Решение о выборе технических средств автоматизации приведено в спецификациях, представленных на листе ФЮРА.421000.006 ЗС.

Выбор датчиков температуры

В автоматизированной системе управления, разработанной для лабораторной платформы дизельного двигателя внутреннего сгорания, температуры в двигателе внутреннего сгорания (три датчика), температура выхлопных газов (один датчик), температуры в системе охлаждения (два датчика) и температура окружающей среды (один датчик), температуры в системе смазки (один датчик).

Основными требованиями к датчику температуры для измерения температуры лабораторного стенда дизельного топлива являются область измерения, качество, цена и надежность. Для измерения температуры двигателя внутреннего сгорания необходима термопара типа К до 1200°C. Термопара с цифровым индикатором и диапазоном измерения. Термопара типа К с цифровым дисплеем и диапазоном измерения 600°C используется для измерения температуры смазочного масла, системы охлаждения, выхлопных газов и окружающей среды.

Предполагается, что в этой системе управления для лабораторной установки дизельного двигателя внутреннего сгорания будет установлено 8 датчиков температуры. С каталогом продукции производителей "Овен" и "Метран" можно ознакомиться в [50, 51]. Периодичность технических

характеристик термопар для измерения температуры дизельного топлива в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики термопар для измерения температуры дизельного топлива

Наименование	НСХ	Выходной сигнал	Диапазон измерения	Цена, руб.	Класс допуска
Метран-288- Ех1а	N	4...20 мА	-50–1200 °С	от 13000	2
Метран-2700	ПП (S)	4...20 мА	-40–1200 °С	от 15750	2
Овен ДТПК 155	ХА (К)	-	-200–1200 °С	от 7200	2

Выберем датчик типа Метран-288-Ех1а (длина монтажной части 100 мм), поскольку выходным сигналом данного датчика является унифицированный токовый сигнал, а также то, что он дешевле, чем Метран-2700. Овен ДТПК 155 является наиболее привлекательным с точки зрения цены, однако использование данного датчика требует установки измерительного преобразователя. Выберем 3 термопары типа Метран-288-Ех1а.

Для измерения температуры систем охлаждения, выхлопных газов, окружающей среды и смазочных материалов необходим датчик температуры с диапазоном 0-120°С. Технические характеристики термопар приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Основные технические характеристики термопар для измерения температуры системы охлаждения, смазки масла, отработавших газов и окружающей среды

Наименование	Выходной сигнал	НСХ	Диапазон измерения	Цена, руб.	Класс допуска
Метран-(252)	4...20 мА	ХК (L)	-40...600 °С	от 2740	2
Овен ДТПК075Е	4...20 мА	ХА (К)	-40...800 °С	от 11000	2
Метран-(2700)	4...20 мА	ХА (К)	-50...200 °С	от 15750	2

Выберем пять датчиков Овен ДТПК075Е (длина монтажной части 60 мм), так как выходной сигнал этого датчика равномерный токовый сигнал, как и его цена. Выберем три датчика Овен ДТПК075Е.

Выбор датчиков давления

Для контроля давления в ДВС и регулирования давления впрыска топлива необходимо установить датчик давления. Основным критерием выбора такого датчика является давление 15 МПа. В таблице 2.5 приведены технические характеристики датчика давления.

Таблица 2.5 – Основные технические характеристики датчиков давления

Наименование	Диапазон измерения	Тип	Степень защиты	Выходной сигнал	Цена, руб.
Датчик давления ПД100 мод 115-Exd	16 кПа... 25 МПа	Измерение давления в тяжелых условиях эксплуатации.	IP65	4...20 мА	От 12340
Датчик давления ПД100 мод 115	16 кПа ... 25 МПа	Измерение избыточного давления	IP65	4...20 мА	От 12500

Анализируя два представленных варианта, можно сделать вывод, что возможны все варианты, но мы выбираем модель ПД 100 115-Exd, так как она обладает мощной эргономикой и используется при работе с мощными носителями. Преимуществами этого метода являются высокая стабильность, точность преобразования, высокая перегрузочная способность, низкий гистерезис и высокая чувствительность соответственно.

Выбор датчиков расхода

Для определения количества сожженного топлива нам необходимо установить расходомер на линию подачи топлива и исходный компонент (дизельное топливо). Вторая группа датчиков важна для контроля концентрации химически инертных и горючих компонентов в топливной смеси. Кроме того, на линии подачи воздуха установлен датчик расхода для контроля концентрации, поступающих в ДВС. Согласно системным исследованиям и

анализу корпуса робота, дизельный двигатель внутреннего сгорания должен использовать датчик расхода, основанный на принципе переменного перепада давления в испытательном стенде. В таблице 2.6 приведены технические характеристики расходомеров переменного давления.

Таблица 2.6 – Технические характеристики расходомеров переменного давления

Наименование	Измеряемые среды	Тип датчика	Степень защиты	Выходной сигнал	Цена, руб.
Расходомер Метран (150RFA)	жидкость, газ, пар	Расходомер переменного перепада давления	(IP65)	4...20 мА	От 12000
Расходомер Метран (350)	жидкость, газ, пар	Расходомер переменного перепада давления	(IP65)	4...20 мА	От 6000

Тип расходомер , выберите расходомер (350). Этот расходомер является самым дешевым. Расходомеры на базе Metran (350) предназначены для измерения расхода жидкостей, газов и паров в системах автоматического регулирования, регулирования и контроллинга технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Выбор датчиков уровня

Датчик уровня находится в баках с топливом, а также с приготовленной топливной смесью. Датчиков уровня на рынке много. Выбираем уровень ДУЕ-10.2 и ЛМК 331.

Характеристики датчиков уровня приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики датчиков уровня

Наименование	Степень защиты	Материал	диапазон температур
Датчик уровня ЛМК 331	IP 65-68	керамический тензорезистивный	от 25 до +135 °С
Датчик уровня ДУЕ-10.2	IP 67	12X18H10T	от -50... +85 °С

Сравнивая данные датчиков, можно сделать вывод, что ЛМК 331 имеет низкие погрешности и, вероятно, подходит для использования в суровых условиях. Система оснащена тремя датчиками уровня для измерения уровня в топливном баке, а также датчиком бака модели ЛМК 331 с приготовленной топливной смесью, предназначенным для контроля процесса. Благодаря использованию керамических датчиков.

Выбор газоанализатора

Для определения качества процесса горения рассмотрим два типа газоанализаторов, предусматривающих установку газоанализатора, позволяющего контролировать содержание кислорода в дымовых газах, а также токсичные выбросы [52,53]:

1. Газоанализатор ЭКСИС тип МАГ-6 Т-8-В-16А.
2. Газоанализатор АГАВА тип АКГ-МП-2П;

Технические характеристики этих технических средств измерения концентрации газа в выхлопной трубе приведены в таблице 2.8.

Проанализировав технические характеристики измерения концентрации отработавших газов, отметим, что для измерения концентрации отработавших газов подходит газоанализатор типа АКГ-МП-2П. Его выбор обусловлен его ценой, а также запасным измерительным каналом.

Таблица 2.8 – Технические характеристики технических средств измерения концентраций газов в выхлопной трубе

Наименование	Количество измерительных каналов	Измеряемые газы	Цена, руб.	Выходной сигнал
Анализатор качества горения А К Г-М П-2 П	2	метан. аммиак. диоксид азота; углекислый газ; кислород. угарный газ, сероводород; диоксид серы	13900	(4...20 мА)
Многокомпонентный газоанализатор М А Г-6 Т-8-В/16А	1	метан, окись углерода, аммиак, кислород; диоксид азота; диоксид серы; углекислый газ; сероводород	22500	(4...20 мА)

Выбор управляющего устройства

В качестве управляющего устройства используется микропроцессорный контроллер. В данной работе мы рассмотрим два контроллера от разных производителей, таких как: Siemens и ОВЕН и ЭлеСИ [65-68].

Для выполнения задачи требуется 15 аналоговых входов, 27 дискретных входов и интерфейсных портов и 12 дискретных выходов. Также нужно учитывать цену ПЛК.

Программируемый контроллер ОВЕН 160 - это система автоматического управления техническим оборудованием в энергетике, транспорте, промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и сельском хозяйстве. Технические характеристики ОВЕН ПЛК160 приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технические характеристики ОВЕН 160

Технические характеристики	Тип ПЛК: ОВЕН 160
Протоколы	ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, GateWay
Количество аналоговых входов	12
Центральный процессор	32–разрядный RISC процессор 50 МГц на базе ядра ARM7
Напряжение питания, В	90...245 В
Интерфейсы	RS-485, RS-232
Потребляемая мощность для переменного тока не более, Вт	18 Вт
Параметры встроенного вторичного источника питания,	выходное напряжение 24±3, ток не более 180 мА
Количество дискретных входов	16

Эти контроллеры содержат широкий спектр модулей для максимальной настройки в соответствии с условиями работы. SIMATIC S7-300 - программируемые универсальные контроллеры из линейки управления Siemens AG SIMATIC S7 для решения задач автоматизации низкой и средней сложности [54]. В таблице 2.10 приведены технические характеристики контроллера SIMATIC S7-300.

Таблица 2.10 – Технические характеристики SIMATIC S7–300

Технические характеристики	SIMATIC S7–300
Напряжение питания	24 В
Рабочая память,	128 Кб
Языки программирования	STEP 7 (LAD, FBD, STL), S7–SCL, S7–GRAPH
Количество каналов вводов – вывода, дискретных/аналоговых, не более,	16384-1024 шт.
Время выполнения: операций с плавающей точкой, операций с фиксированной точкой, логических операций	0,06 с 0,16 с 0,59 с
Количество флагов/ таймеров/счетчиков,	2048-256-256 шт.

Контроллер «Элсима» производства компании «Элеси» предназначен для работы в малых системах автоматизации с количеством входных-

выходных сигналов не более 100. Алгоритм работы контроллера определяется управляющей программой, разрабатываемой пользователем в соответствии с требованиями к системе управления, создаваемой с использованием контроллера. Контроллер представляет собой функциональное законченное изделие, имеющее необходимое количество входных и выходных каналов, конфигурируемых на различные виды входных и выходных сигналов, включая:

- дискретный вход сигналов различной полярности относительно общего проводника;
- дискретный выход сигналов типа «Общий коллектор» и «Сухой контакт»;
- вход непрерывных сигналов, представленных напряжением постоянного тока, постоянным током, термопреобразователями и импульсными сигналами;
- выход непрерывных сигналов, представленных напряжением постоянного тока и постоянным током.

При необходимости, для увеличения количества сигналов, контроллер позволяет подключать модули удаленного ввода-вывода серии Элсима и аналогичные. Основная область применения – малые системы автоматического и автоматизированного управления технологическими процессами в областях, таких как, управление климатическим оборудованием, управление малыми станками и механизмами, автоматизация котельных и других отраслях. Контроллер обеспечивает непрерывный необслуживаемый режим работы в условиях естественной вентиляции. В таблице 2.11 приведены технические характеристики контроллера Элсима-М01. Проведя анализ технических характеристик, сделаем выбор в пользу контроллера Элсима-М01 с тремя модулями расширения (для модуля удаленного ввода-вывода аналоговых сигналов Элсима-А01 и один модуль удаленного ввода-вывода дискретных сигналов Элсима-Д01). Данный контроллер полностью удовлетворяет требованиям системы, а также обладает не высокой ценой 33436 руб.

Таблица 2.11 – Технические характеристики контроллера Элсима-М01

Процессор	
Тип процессора	Cortex ARM8
Тактовая частота	300 МГц
Память	
Объем оперативной памяти RAM	128 Мбайт
Объем flash-памяти	128 Мбайт
Объем энергонезависимой памяти	32 Кбайт
Поддержка microSD	до 32 Гбай
Коммуникации	
Кол-во портов Ethernet	2 (протоколы Modbus TCP/IP, NTP)
Кол-во портов RS-485	1 (протокол Modbus RTU)
Кол-во портов USB	2
Ввод/вывод	
Дискретных входов	20 шт.
Количество гальванически развязанных групп	2 группы
Количество дискретных выходов тип "Открытый коллектор" (одна группа)	4 шт.
Количество гальванически разделенных групп дискретных выходов, тип "Реле"	2 группы
Количество дискретных выходов, тип "Реле", в одной группе	2 шт.
Количество универсальных аналоговых входов	4 шт.
Количество аналоговых выходов	2 шт.
Количество групп аналоговых выходов	1 группа
Электрические параметры (зависят от исполнения)	
Напряжение питания от источника постоянного тока	20–28 В
Встроенный источник питания датчиков	+24 В
Потребляемая мощность, не более	7 Вт
Механические характеристики	
Материал корпуса	Металлический
Размеры, ШxВxГ, мм	160x116x59
Масса, кг, не более	0,4
Монтаж	На горизонтальную DIN-рейку
Охлаждение	Естественное
Средняя наработка на отказ ч., не менее	80000
Средний срок службы, не менее, лет	12
Окружающая среда	
Рабочая температура, °С	от -40 до +60
Температура пуска изделия, °С	от 0 до +60
Температура хранения, °С	от -40 до +50
Влажность, % (при температуре +40 °С)	50–95
Атмосферное давление, кПА (мм рт. ст.)	84,0–106,7 (630–800)

Выбор исполнительного механизма

Двигатель выбирается по типу регулятора и крутящему моменту [55]. Имеем номинальный крутящий момент на выходном валу 16 Нм, номинальное значение полного хода 0,25 об/мин и 12,5 с номинальное время полного хода МЭО-16/12,5-0,25-Р-99 [50]. Этот стартер питается от 220 В сети переменного тока, а его цена составляет 22 000 рублей.

Для управления расходом воздуха и жидкости выбираем МЭО-630/25-0,25-Р-97 типа ИМ [50], с крутящим моментом 630 Нм, что соответствует номинальному значению полного хода 0,25 об. , а номинальное время полного градуса составляет 25 секунд. Этот привод поддерживается датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Этот стартер питается от сети 220 В переменного тока, а его цена составляет 59 400 рублей.

В зависимости от функциональной схемы составлен перечень выходных и входных сигналов, который представлен в таблице 2.12. Система использует 20 аналоговых входов AI, 18 цифровых входов DI и 18 цифровых выходов DO.

Таблица 2.12 – Список входных и выходных сигналов

Наименование параметра (единица измерения)	Позиция	AI	AO	DI	DO
Уровень топлива в баке	8	+			
Температура в камере сгорания	1	+			
Температура в камере сгорания	1	+			
Температура в камере сгорания	1	+			
Температура в системе охлаждения	2	+			
Температура смазочного масла	2	+			
Температура в системе охлаждения	2	+			
Температура атмосферного воздуха	4	+			
Температура выхлопных газов	3	+			
Давление в камере сгорания	5	+			
Давление в камере сгорания	5	+			
Расход дизельного топлива	6	+			
Концентрация вредных выбросов	9	+			
Расход воздуха	7	+			
Положение вала	10	+			
Клапан дизельного топлива открыт	11-12			+	
Клапан дизельного топлива закрыт	11-12			+	
Клапан дизельного топлива открыть	11-12				+
Клапан дизельного топлива закрыть	11-12				+
Клапан воздуха открыт	15-16			+	
Клапан воздуха закрыт	15-16			+	
Клапан воздуха открыть	15-16				+
Клапан воздуха закрыть	15-16				+
Насос включить	13		+		
Насос выключить	13		+		
Насос включен	13				+
Насос выключен	13				+
Вентилятор включить	14		+		
Вентилятор выключить	14		+		
Вентилятор включен	14				+
Вентилятор выключен	14				+

2.6 Проектирование схемы внешних проводов

Монтажная документация необходима для проведения монтажных работ. Эти документы также используются при наладке, эксплуатации, ремонте и техническом обслуживании. Для комплексных систем автоматизации электрические схемы щитов, блоков управления, наружной электропроводки, разводки трубопроводов выполняются отдельно. Схемы

подключения наружной электропроводки приведены на листе ФЮРА.421000.006 С4.

Монтажная документация, разработанная в процессе проектирования системы автоматического управления, включает в себя: документы по монтажу панелей и консолей; документы по монтажу внешней электропроводки и трубопроводов.

Монтажные схемы показывают, как соединяются друг с другом клеммы или выводные разъемы технических средств.

Для разработки монтажной документации используются следующие материалы:

- 1) функциональная схема;
- 2) принципиальная электрическая схема;
- 3) техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации и других средств;
- 4) общие виды щитовых и других конструкций.

В данной работе необходимо разработать монтажную схему лабораторных стендов дизельных двигателей внутреннего сгорания, предназначенных для сжигания топлив. Для этого необходимо выполнить следующие действия: выбрать провода для подключения технических средств; количество разъемов; подключение измерительных и контрольных приборов к шкафу автоматики.

На схеме вверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, устанавливаемых непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах. Первичные преобразователи, внешние приборы и шкаф управления соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с помощью электрических кабелей, проводов и жгутов проводов. К внешним электрическим и трубным проводкам относят такие проводки, которые расположены за пределами щитов и пультов. Целью

проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электропроводок, коммутации 76 токоведущих жил и труб к техническим средствам автоматизации и вспомогательным элементам, проверки проводок и ввода их в эксплуатацию.

На схеме ФЮРА.421000.006 С4 все кабели проложены в коробах.

2.7 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления

Электрическая схема является основным чертежом, отражающим аппаратную конфигурацию системы управления. С помощью принципиальной схемы разрабатывают монтажные чертежи, которые используют при пуско-наладочных работах [44].

На схеме подключения показаны все устройства и элементы, входящие в состав изделия. На этой схеме показаны все устройства и элементы, включенные в схему, а также соединения между ними. Устройства представлены в виде прямоугольников, а элементы - в виде изображений условных графов, встроенных в ЕСКД [46].

Рядом с традиционными графическими обозначениями устройств и элементов показаны обозначения расположения, присвоенные им на принципиальной схеме. На этой схеме должно быть указано обозначение клемм (контактов) элементов, которые применяются к изделию, или элементов, которые установлены в документации на изделие. Проводам, жгутам и кабелям присваивается серийный номер, показанный на рисунке. Нумерация производится в изделии отдельно для кабелей и проводов.

Чтобы разработать схему, необходимо выполнить несколько действий:

- 1) изобразить на схеме автоматизированное оборудование;
- 2) указать соединения кабелей к клеммам оборудования в соответствии с требованиями производителя оборудования;
- 3) Выполните нумерацию проводников.

Для реализации схемы используем увеличенные изображения элементов технических средств. Расположение графического текстового материала было выбрано таким образом, чтобы сделать эту графику более удобной для чтения. Схема электрических соединений выполнена с использованием условных графических изображений.

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

В данном разделе разработана принципиальная схема электрощита управления лабораторного стенда, которая представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 Э4.

Питание всего технического оборудования осуществляется от распределительного щита с переменным напряжением 220 В и 50 Гц. Устройство в щитке питается от 2 источников бесперебойного питания. Доступны резервные клеммы 24 В и 220 В.

Предусмотрена защита от перенапряжения типа РТ 2-РЕ/S-230АС (Z1) на вводе питания 220 В. Шкаф оборудован внутренним рабочим освещением (лампы EL1) для обслуживания и ремонта. Концевой выключатель SQ1 предназначен для автоматического включения и выключения света при открытии и закрытии дверцы шкафа. Для обслуживания оборудования с минимальными усилиями в шкафу управления имеется розетка (XS1). Температура воздуха внутри шкафа регулируется термостатическим выключателем КТС 1141 (КК1), установленным на 50°C. В шкафу управления также имеется вентилятор М1, который включается при срабатывании теплового реле и отводе тепла от ТСА.

Ввод интерфейсного сигнала через интерфейс RS-485 обеспечивает штекер защиты РТ с односторонним заземлением и 4-проводную схему защиты сигнальной цепи с номинальным напряжением 12 В, защита РТ4х1-12АС-ST.

Для ввода аналоговых сигналов в щите установлены буферные трансформаторы ЕТ-422, обеспечивающие гальваническую развязку цепей управления и цепей возбуждения, от которых сигнал подается на соответствующие блоки блока управления. Для ввода отдельных сигналов применяются устройства защиты отдельных каналов вывода/ввода от помех тип БС-118-12/24. Релейные выходы и реле используются для передачи управляющих сигналов.

2.8 Составление перечня элементов щита управления

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об изделиях и устройствах применяют условные буквенные обозначения в соответствии с ЕСКД ГОСТ 2.710-81 [46]. Заглавные буквы, цифры латинского алфавита присваиваются элементам схемы в соответствии с их назначением. На основании принятых обозначений был составлен перечень предметов. Перечень позиций представлен на листе ФЮРА.421000.006 ПЭ.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа [46]. Перечень элементов оформляют в виде таблицы по ГОСТ 2.701. Если перечень элементов помещают на первом листе схемы, то его располагают, как правило, над основной надписью. Для электронных документов перечень элементов оформляют отдельным документом.

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Для облегчения внесения изменений допускается оставлять несколько незаполненных строк между отдельными группами элементов, а при большом количестве элементов внутри групп — и между элементами [46].

2.9 Разработка сборочного чертежа щита управления

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения контроля и управления технологическими процессами, устройствами, устройствами сигнализации, аппаратурой управления, автоматики, защиты, блокировки, линиями связи между ними (трубопроводами и электрическими выключателями) и др. Щиты устанавливаются в производственных и распределительных помещениях: операторных, передаточных, аппаратных и т.п.

Целью этого этапа является редактирование серии чертежей, необходимых для изготовления щитков и установки оборудования автоматизации.

С учетом конструктивных особенностей, в том числе степени защиты от контакта с токоведущими частями, в помещении оператора шкаф Rittal ES 5884.500 производства Rittal подходит для установки средств автоматизации [56].

В этом случае для размещения средств автоматики используем щит высотой 170 см, шириной 70 см и глубиной 1 см. Лицевая сторона панелей (шкаф и панель с рамой) разделена на две функциональные зоны. Детализация производится на основе рационального размещения приборов, органов управления и сигнальных узлов. Высота шкафа обеспечивает легкий доступ ко всем узлам.

Контроллеры устанавливаются в верхней части панели управления. Все остальные блоки, входящие в систему, предназначены для монтажа на DIN-рейку. Внизу пластины экрана находятся сборки клеммных колодок.

Сборочный чертеж щита управления содержит вид сзади, вид спереди, вид сбоку, вид передней панели и т. д. Средства автоматизации распределены по шкале, показаны основные общие и справочные размеры. Сборочный чертеж щита управления представлен на листе ФЮРА.421000.006 СБ.

2.10 Составление спецификации щита управления

Щит управления (шкаф управления) обеспечивает управление распределением электроэнергии, а также управление питанием технологического оборудования. Щиты управления предназначены для управления работой насосов, вентиляторов, электродвигателей, заслонок и другого электрооборудования. Разработка спецификаций панели управления является важным пунктом в таблицах подключений и подсоединений. В раздел «Детали» включены нестандартные детали для монтажа приборов и оборудования внутри щитов (уголки, рейки) и элементы (условные обозначения оборудования и соединений) схем памяти. В раздел «Стандартные изделия» входят: панельные конструкции; другие стандартные элементы. В раздел «Прочие изделия» входят все устройства и оборудование, а также установка товаров по группам в следующей последовательности: устройства; Электроприборы; Трубопроводная арматура, изделия для электроустановок. Изделия для монтажа трубной проводки. изделия для письма. Раздел «Материалы» включает электрические провода, указанные в таблице соединений, и трубопроводы. Проект автоматизированной системы. Спецификацию щита выполняют по ГОСТ 21.101 [57]. При этом не допускается заполнение графы «Масса». Спецификация композитного экрана состоит из двух частей: сборочные единицы; стандартные продукты. Отдельные щиты с общей графикой включены в раздел «Сборочные единицы».

Вспомогательные элементы, не имеющие чертежа общего вида, включают в раздел «Стандартные изделия». Спецификация единичного щита, как правило, состоит из разделов: документация; детали; стандартные изделия; прочие изделия; материалы.

В раздел «Документация» включают таблицы соединений и подключения.

В раздел «Детали» включают нетиповые детали для установки приборов и аппаратуры внутри щитов (угольники, рейки), элементы (символы оборудования и коммуникаций) мнемосхем.

В раздел «Стандартные изделия» включают: щитовые конструкции; другие стандартные изделия.

В раздел «Прочие изделия» включают все приборы и аппаратуру, монтажные изделия по группам в следующей последовательности: приборы; электроаппараты; трубопроводная арматура; изделия для электромонтажа; изделия для монтажа трубных проводок; изделия для нанесения надписей.

В раздел «Материалы» включают электрические провода, указанные в таблице соединений, и трубы.

2.11 Разработка фрагментов информационного, математического и программного обеспечений

В этом разделе разработан алгоритм в виде блок-схемы для управления дизельным двигателем внутреннего сгорания во время пуска и стационарной работы (рисунок 2.4 и рисунок 2.5). Алгоритм управления, по определению, представляет собой установленную процедуру принятия решений об управлении, передаче и планировании информации в процессе управления.

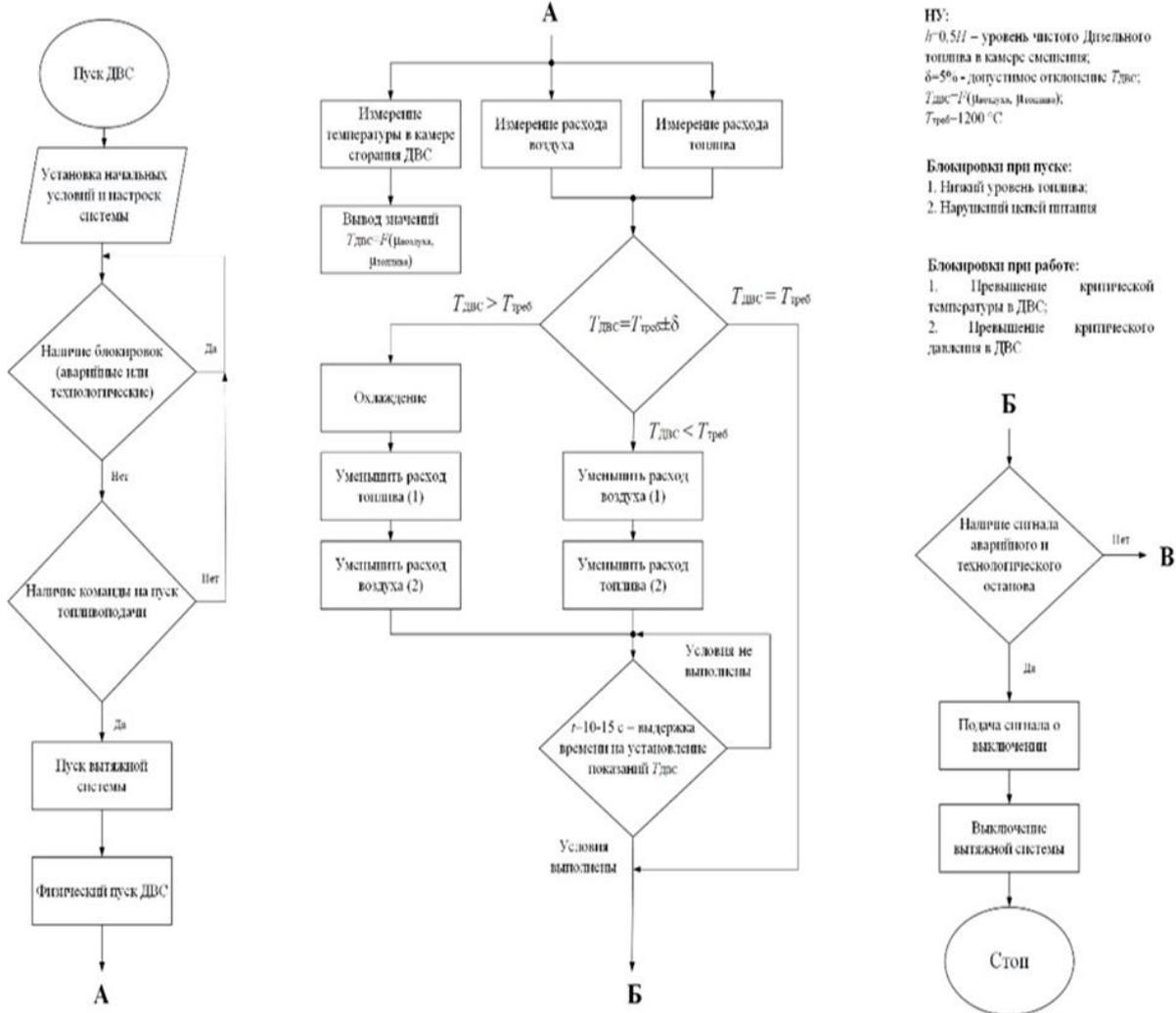
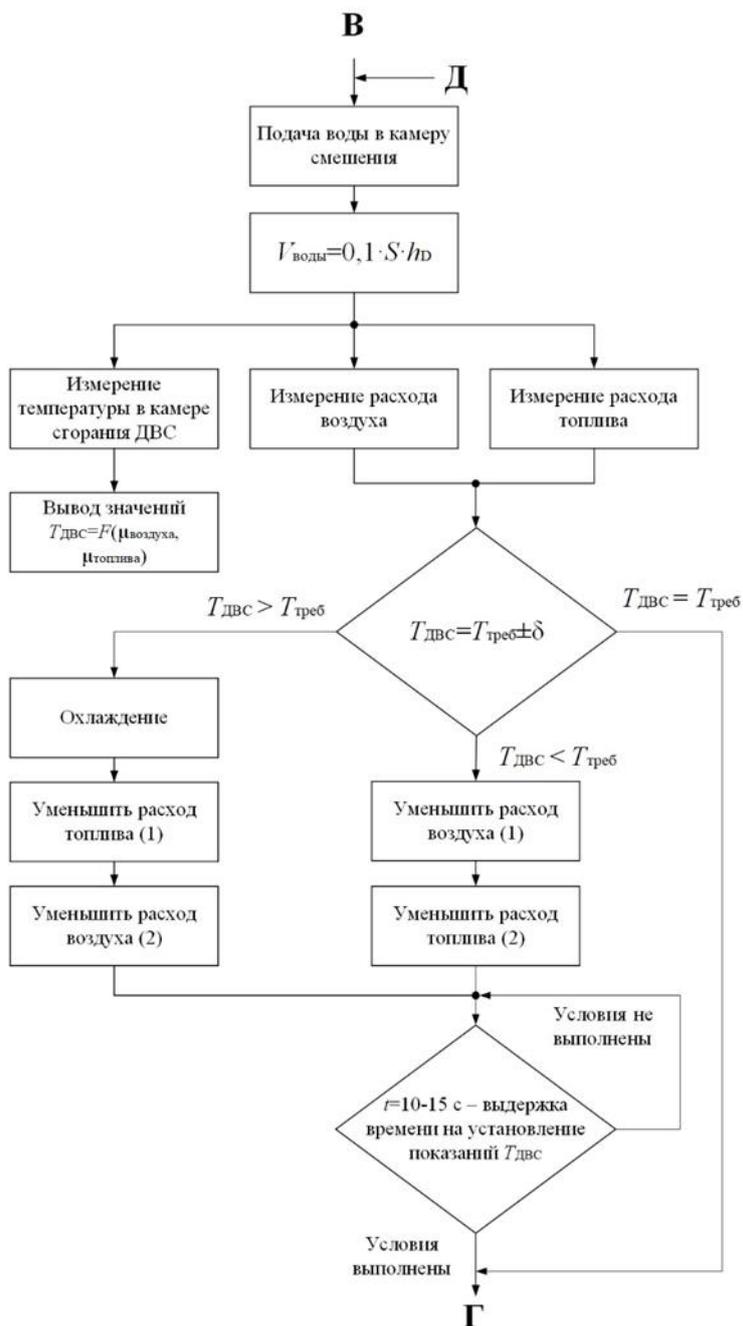


Рисунок 2.4 – Блок-схема контроля положения тестера дизельного двигателя внутреннего сгорания при пуске



При подаче воды в камеру смешения выполняем следующие условия:

$$V_{\text{Дизеля}} = S \cdot h_D;$$

$$V_{\text{воды}} = 0,1 \cdot V_{\text{Дизеля}} = 0,1 \cdot S \cdot h_D$$



Рисунок 2.5 – Блок-схема установки управления положением дизельного двигателя внутреннего сгорания в установившемся (нормальном) режиме работы

2.12 Разработка мнемосхем SCADA-системы

В этом разделе была разработана мнемосхема SCADA-системы управления для лабораторного стенда дизельного двигателя внутреннего сгорания (рисунок 2.6). Мнемосхема - это набор сигнальных устройств и выборок сигналов для оборудования и внутренних коммуникаций объектов управления, которые выполняются на диспетчерском пульте, панели управления или персональном компьютере. Информация, отображаемая в мнемонических схемах, может быть представлена в виде аналоговых сигналов, дискретных сигналов и релейных сигналов и графически. Мнемосхема, которая визуальнo отображает структуру системы, позволяет оператору легко запомнить схему и параметры объекта, а также взаимосвязь между устройством и объектом управления. В процессе управления граф памяти является важнейшим источником информации для оператора о текущем состоянии системы, характере и структуре происходящих в ней процессов, в том числе связанных с текущим состоянием системы, нарушениями в работе технической системы, авариями и т.п.

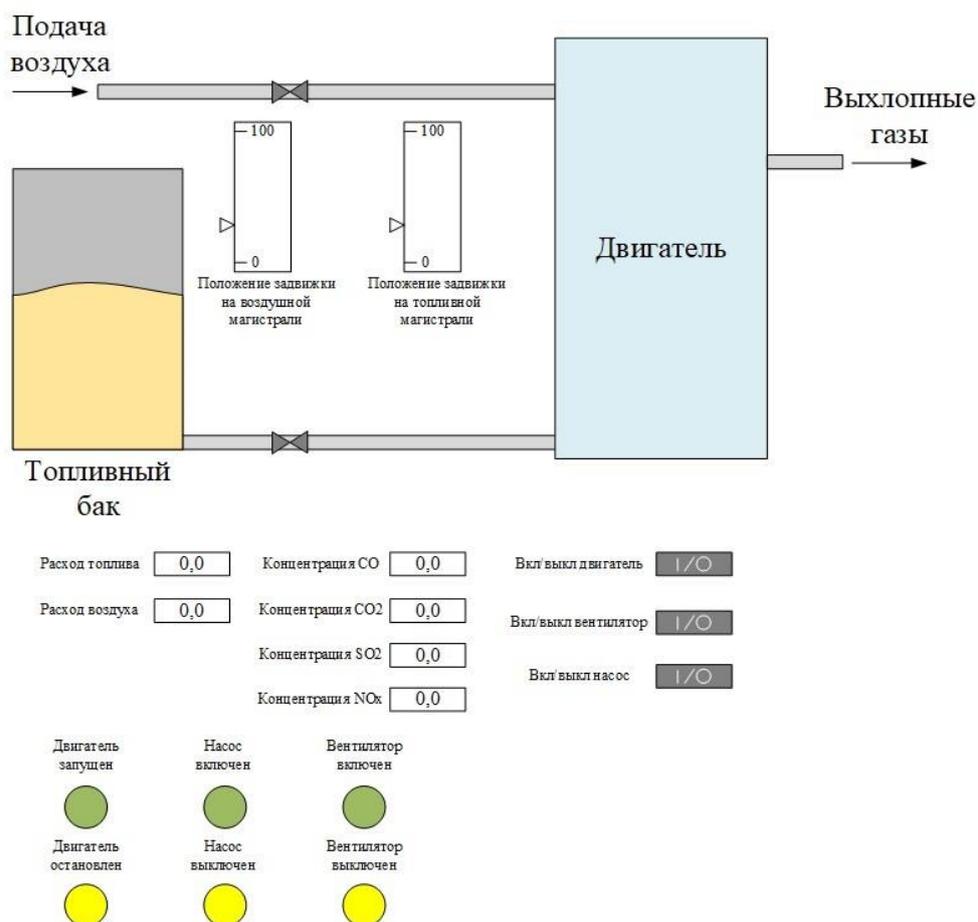


Рисунок 2.6 – Мнемосхема лабораторного стенда системы SCADA для управления дизельным ДВС

Требования к мнемонической схеме определяются организацией, для которой она предназначена. В данном исследовании схема разработана в соответствии с общими требованиями.

- 1) Мнемоническая схема должна состоять из элементов, необходимых для управления объектами.
- 2) Отдельные объекты или группы объектов, которые наиболее важны для контроля, должны отличаться по размеру, форме и цвету.
- 3) Элементы мнемонической схемы должны быть понятными, интуитивно понятными и отчетливо видимыми.

На основе этих принципов на лабораторном стенде была разработана мнемосхема процесса управления дизельным двигателем внутреннего сгорания. мнемосхема показана на рисунке 2.6. В центре мнемосхема

размещено условное изображение техпроцесса, на котором показаны основные параметры.

2.13 Выводы по разделу проектирование систем автоматического управления подготовкой и сжиганием топлива в ДВС

В данной работе разработана АСУ испытательным стендом дизельного двигателя внутреннего сгорания, работающего на эмульгированных топливах. Решена задача автоматического управления лабораторной платформой дизельного двигателя внутреннего сгорания, которая в основном сводится к необходимости поддержания материального и энергетического балансов в постоянных и переходных режимах.

В ходе этой работы были разработаны проекты, схемы и конструкторская документация: схема структурная, функциональные чертежи, электрические схемы, схема монтажная, сборочные чертежи щитков.

В этом разделе приводится описание основного оборудования, устройств и технических средств автоматизации, а также мнемосхем и алгоритма управления. Для выборе устройства ориентировались на каталог производителя или веб-сайт.

При выполнении работ была решена основная задача:

- проведен системный анализ автоматизированных объектов;
- выбрана структура автоматизированной системы управления;
- разработана функциональная схема системы автоматического управления;
- составлены опросные листы по оборудованию и инструментам автоматизации;
- выбраны технические средства автоматизированных систем управления;
- разработана принципиальная электрическая схема панели управления;
- составлен список элементов панели управления;
- разработана схема внешней электропроводки;
- разработана схема монтажная панели управления;

- разработаны алгоритмы управления и мнемонические схемы scada-системы.

3 Расчет параметров настройки регулятора

Принцип действия всякой системы автоматического регулирования заключается в обнаружении отклонения регулируемых величин, характеризующих работу объекта или протекание процесса от требуемого режима и при этом воздействовать на объект или процесс так, чтобы устранять эти отклонения.

В настоящее время системы регулирования получили широкое применение в различных отраслях промышленности. В связи с этим проблема определения оптимальных параметров настройки регуляторов систем остаётся актуальной, даже несмотря на то, что разработано большое количество приёмов и методов, позволяющих решать эти проблемы [58]. В частности, существует два инженерных метода расчёта систем регулирования: корневой (с использованием РАФЧХ) и частотный по максимуму АЧХ замкнутой системы (метод В.Я.Ротача) [3, 59].

Цель данного раздела является расчет оптимальных параметров настройки (ОПН) ПИ-регулятора.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- расчет оптимальных параметров настройки (ОПН) ПИ-регулятора;
- обоснование и выбор ОПН регулятора;
- расчет и построение переходного процесса в АСР, оценка его качества.

3.1 Идентификация объекта управления

Идентификация предназначена для получения математических моделей объекта управления. Существует активная и пассивная, в инженерной практике применяют активную идентификацию (на объект подается

специализированное входное воздействие и по реакции объекта при обработке результатов получают математическую модель).

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в камере сгорания дизельного двигателя. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. Кривая разгона приведена на рисунке 3.1.

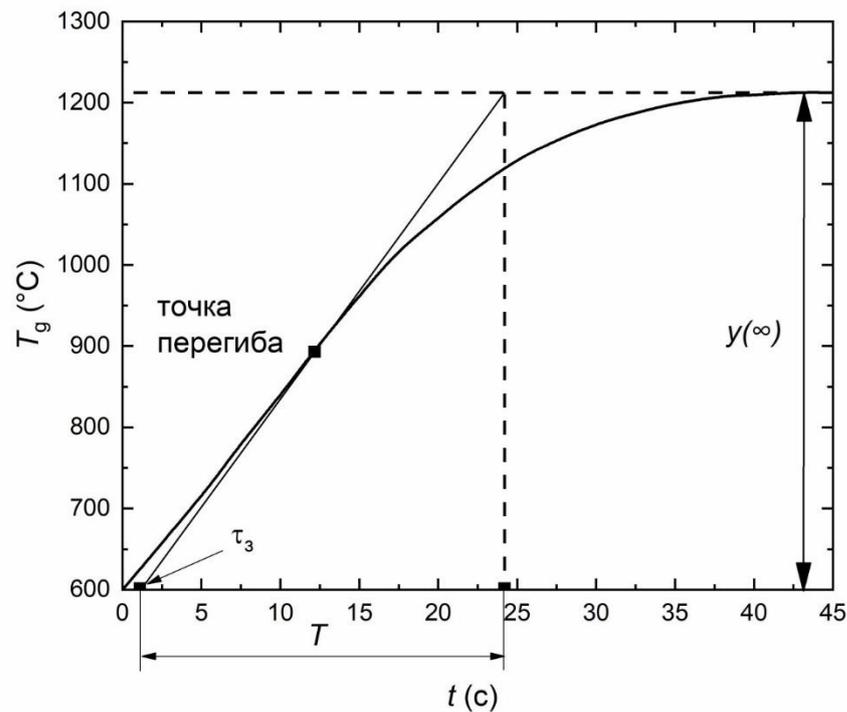


Рисунок 3.1 – Кривая разгона объекта управления

По полученной переходной характеристике определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени; запаздывание, коэффициент передачи. Аппроксимирующая передаточная функция в этом случае имеет вид:

$$W(P) = \frac{K \cdot e^{-\tau_z P}}{T \cdot P + 1}$$

Последовательность определения параметров передаточной функции следующий:

1. Находим по временной характеристике значения постоянной времени и запаздывание. Показано на рисунке 3.1.

2. Время чистого запаздывания:

$$\tau_3 = 1,1 \text{ с.}$$

3. Определяем постоянную времени T :

$$T = 22,9 \text{ с.}$$

4. Вычисляем передаточный коэффициент:

$$K = y(\infty) / X_{\text{вх}} = 1220/1250 = 0,976.$$

5. Передаточная функция обогреваемого участка имеет вид:

$$W(P) = \frac{0,976 \cdot e^{-1,1P}}{22,9 \cdot P + 1}.$$

3.2 Расчет оптимальных параметров настройки (ОПН) ПИ-регулятора

3.2.1 Обоснование и выбор ОПН регулятора

В качестве закона регулирования выбран ПИ-закон. Данный закон регулирования обладает рядом преимуществ: нулевая статическая ошибка регулирования; простая настройка (настраивается коэффициент усиления и постоянная времени интегрирования); малая чувствительность к шумам в канале измерения (в отличие от ПИД-регулятора).

В качестве схемы автоматического регулирования выбрана одноконтурная система, так как она является более простой, содержит меньшее количество элементов, а, следовательно, является более надежной.

Расчет оптимальных параметров настройки ОПН регуляторов произведен в программном комплексе Matlab Simulink. На рисунке 3.2 представлена структурная схема одноконтурной АСР в программном комплексе Matlab Simulink.

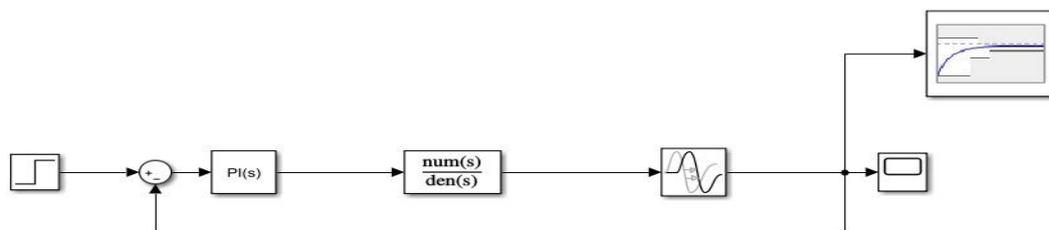


Рисунок 3.2 – Структурная схема одноконтурной АСР в программном комплексе Matlab Simulink

Основными элементами данной структурной схемы являются: Block Parameters: Step; Sum; Block Parameters: PID Controller; Block Parameters: Transfer Fcn; Block Parameters: Transport Delay; Scope; Check Step Response Characteristics; LTI System.

В Simulink встроено средство Simulink Design Optimization, которое позволяет решать задачи синтеза регуляторов для линейных и нелинейных систем на основе задачи оптимизации параметров регулятора. Благодаря использованию эффективных методов оптимизации, возможен синтез регуляторов не только для линейных систем, но и для нелинейных с присутствием неаналитических нелинейностей с памятью.

Рассмотрим использование возможностей пакета Simulink Design Optimization для поиска параметров ПИ-регулятора, удовлетворяющих критериям качества управления во временной области.

Для синтеза регулятора с помощью графического интерфейса Simulink Design Optimization выполним следующее:

- зададим входной сигнал в виде единичного ступенчатого воздействия;
- зададим требования сигналу на выходе объекта управления;
- запустим процесс оптимизации выбранных параметров регулятора.

Модель содержит блок Controller, который является ПИ-регулятором.

На рисунке 3.3 представлены параметры блока Controller.

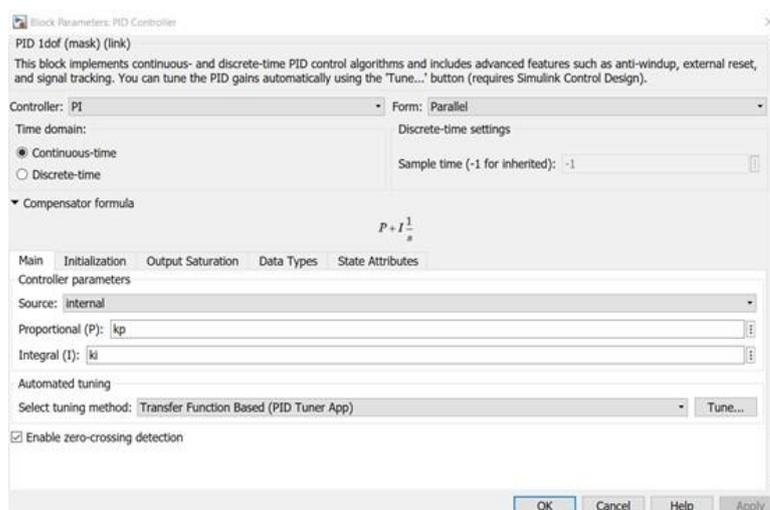


Рисунок 3.3 – Параметры блока Controller

Далее мы используем единичное входное воздействие и оптимизируем параметры модели для удовлетворения спецификаций выходной реакции системы на ступенчатое воздействие.

3.2.2 Расчет и построение переходного процесса, оценка его качества

Перетащим блок Signal Constraint в окно модели Simulink. Подключим блок Signal Constraint к выходу объекта управления, как показано на рисунке 3.2 .

Далее специфицируем требования к выходному сигналу системы во временной области: время нарастания, время установления и величина перерегулирования. Чтобы ввести требования к качеству управления, дважды щелкнем на блок Signal Constraint block, открыв параметры блока - окно Block Parameters: Signal Constraint (рисунок 3.4).

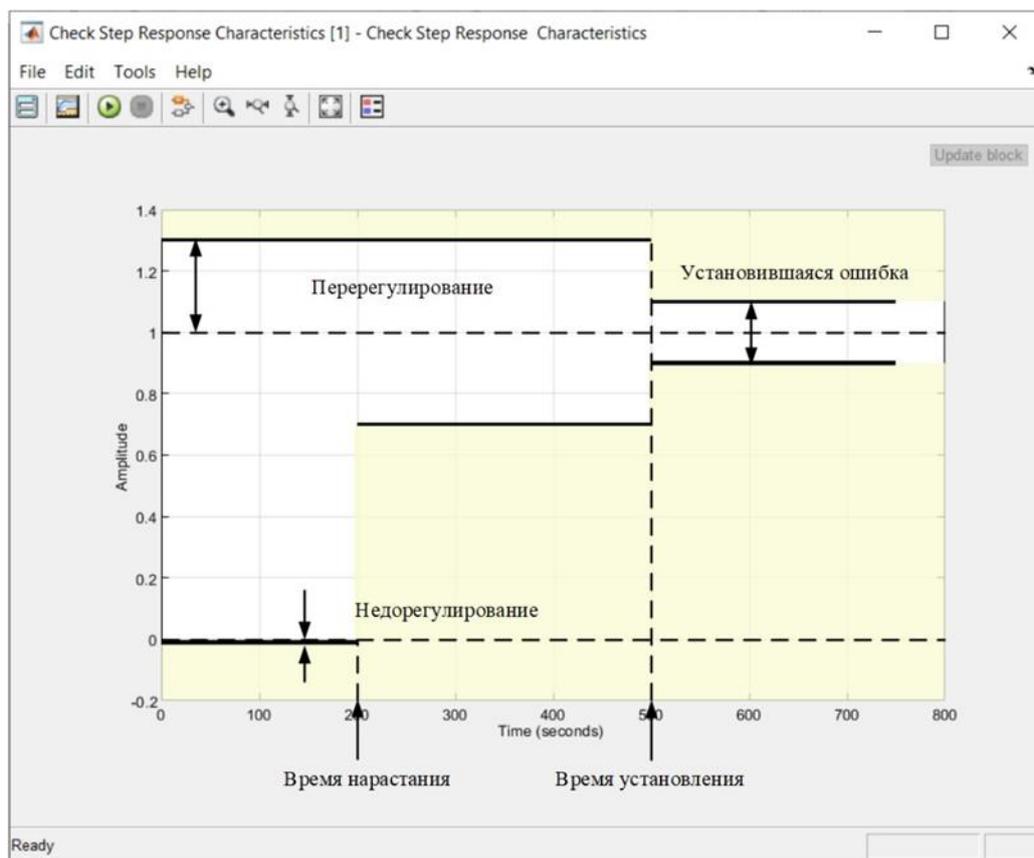


Рисунок 3.4 – Параметры блока Signal Constraint

При оптимизации параметров модели, программное обеспечение изменяет значения параметров модели для удовлетворения указанных требований качества регулирования. Чтобы задать параметры для оптимизации необходимо открыть Open Response Optimization Tool. В окне Open Response Optimization Tool выберем переменные для настройки регулятора k_p и k_i (Design Variables Set). Это действие показано на рисунке 3.5.

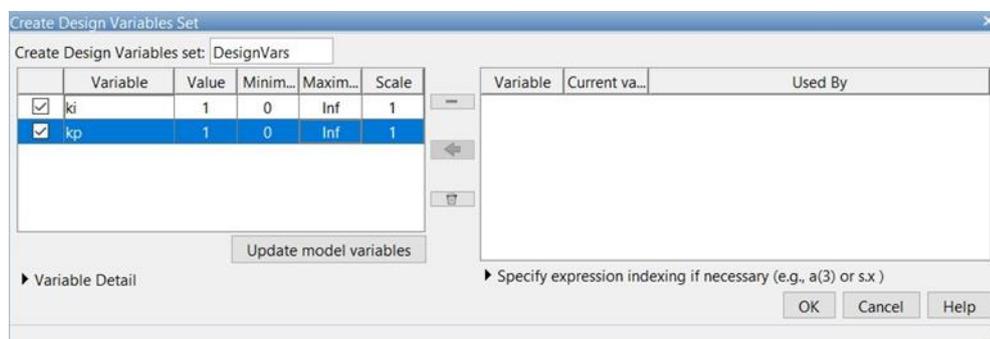


Рисунок 3.5 – Диалоговое окно настраиваемых параметров

Minimum и Maximum - границы изменения параметров Value - коэффициент масштабирования для параметра. Чтобы ограничить область изменения параметра только положительными значениями, необходимо ввести в поле Minimum каждого параметра значение 0, как показано на рисунке 3.5.

Далее запускаем процесс оптимизации параметров модели (рисунок 3.6). В окне параметров блока Signal Constraint, в меню необходимо выбрать Optimization / Start для запуска оптимизации.

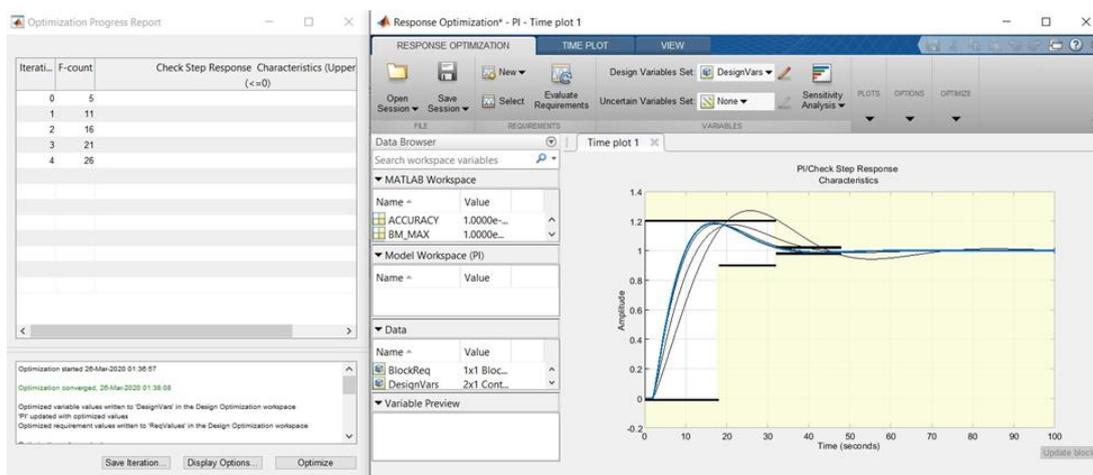


Рисунок 3.6 – Окно прогресса оптимизации

Во время каждой итерации оптимизации, программа моделирует систему, и метод оптимизации (по умолчанию градиентный спуск, но можно выбирать и другие) изменяет параметры регулятора с целью уменьшить расстояние между полученной в результате моделирования реакцией системы на выходе и кусочно-линейными спецификациями допустимых границ выходного сигнала.

Сообщение Optimization converged указывает, что методом оптимизации найдено решение, которое отвечает требованиям к границам выходного сигнала как указано в свойствах блока Signal Constraint. Оптимизированные значения параметров отображаются в окне MATLAB Workspace (рисунок 3.7) и присвоены соответствующим переменным k_i , k_p – могут использоваться как параметры модели Simulink.



0.5129
3.7777

Рисунок 3.7 – Оптимизированные значения для ПИ-регулятора

В окне параметров блока Signal Constraint, также показаны реакции модели на входной сигнал в течение процесса оптимизации, чтобы позволяет проверить, соответствует ли конечная реакция (она обозначается черным цветом) требованиям качества управления. Выводится также график первоначальной реакции системы в синем цвете (рисунок 3.6).

Далее с использованием оптимизированных значений коэффициентов k_p и k_i переходим к построению переходного процесса в АСР (рисунок 3.8).

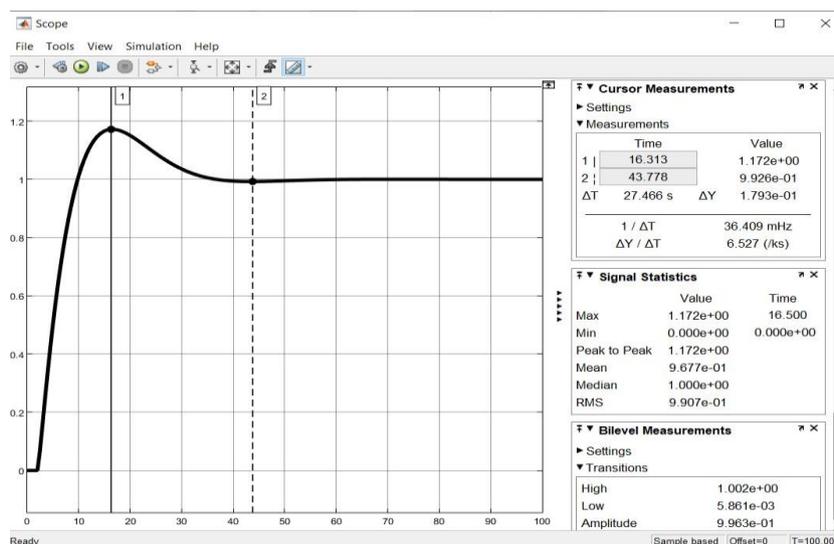


Рисунок 3.8 – Построение переходного процесса в АСР

По графику переходного процесса определяем величины:

$$A_1=0,1720, A_2=0,0074, A_3=0,0010.$$

Прямые оценки качества переходного процесса:

1. Максимальная динамическая ошибка: $A_1=0,1720$.
2. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,1720 - 0,0074}{0,1720} = 0,9570.$$

3. Время регулирования: $t_p = 28,4$ с.

4. Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1}{Y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,1720}{1} \cdot 100 = 17,20 \%$$

5. Статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = S - Y(\infty) = 1 - 1 = 0$.

3.3 Вывод по разделу Расчет параметров настройки регулятора

В ходе выполнения данного раздела были выполнены задачи по расчету одноконтурной АСР с логическим законом управления. Рассмотрена система регулирования с классическим ПИ-регулятором. Данный регулятор удовлетворяет требованиям по степени затухания (ψ не менее 0,95). В результате параметрического синтеза системы управления определены оптимальные параметры настройки регулятора ($k_p=3,7777$, $k_i=0,5129$). При найденных параметрах построены переходные процессы. Прямые оценки качества переходного процесса показывают, что найденные параметры настройки отвечают требованиям, предъявляемым к АСР.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Исмаил Али

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

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- 16% накладные расходы; - 15% 84оэффициент доп. Зарботной платы; - 30% районный 84оэффициент.
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Размер страховых взносов 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ конкурентных технических решений FAST-анализ
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Планирование работ и оценка их выполнения; определение трудоемкости выполнения работ; составление бюджета затрат.
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>Анализ конкурентных технических решений FAST-анализ Календарный план-график проведения НТИ Бюджет затрат НТИ Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Исмаил Али		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках настоящей магистерской диссертации разрабатывается автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания. В качестве установки выбран испытательный стенд двигателя сгорания жидкостного ракетного топлива. Внедрение АСУ ТП позволит минимизировать расход топлива (при этом повысить эффективность), повысить энергетические характеристики процесса горения, обеспечить экологическую и производственную безопасность, сохранить целостность оборудования, обеспечить безопасность персонала и т.п.

Цель работы заключается в расчете экономической эффективности внедрения и использования АСУ ТП сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания. Для достижения 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 4,5. Максимальный бюджет проекта не должен превышать 1200000 рублей.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время доля транспортных средств в загрязнении воздуха в городах достигает 70-90%, что создает достаточно устойчивые и обширные зоны, внутри которых санитарно-гигиенические нормативы загрязнения воздуха превышены в несколько раз. Решение данной проблемы может стать замена традиционных топлив на перспективные эмульгированные топлива, которые могут сжигаться в двигателях внутреннего сгорания без существенных модификаций конструкции. Однако, в настоящий момент существует проблема, заключающаяся в том, что существующие системы автоматизации двигателей не позволяют достичь оптимальных, в точки зрения экономической и экологической эффективности, режимов работы двигателей на эмульгированном топливе .

Достижение оптимальных режимов работы дизельных двигателей, работающих на эмульгированном топливе, может быть решено с помощью разработки соответствующих систем автоматизации актуально для транспортных и энергетических компаний, заинтересованных в снижении антропогенных выбросов.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Разработка и проектирование любой автоматизированной системы предполагает, кроме проведения проектной части, анализ конкурентных технических решений. По своим основным принципам и целям проектирования варианты автоматизированных систем разных производителей идентичны. Однако по техническим и экономическим критериям они будут значительно различаться. Каждый производитель придерживается своих требований при разработке автоматизированных систем. Так, например, одни производители делают акцент на надежность , помехоустойчивость, а другие на дешевизну. Примерами конкурирующих

производителей автоматизированных систем для двигательных установок являются HATZ и Vertigo.

В ходе проведения анализа конкурентоспособности технических решений важным является выделение критериев оценки автоматизированных систем двигательных установок (сильные и слабые стороны конкурентных разработок). Данный анализ производится с помощью специальной оценочной карты (таблица 4.1). Точка зрения конкурентов и разработки оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция , а 5 – наиболее сильная. Вес показателей составляет 1.

Анализ конкурентных технических решений производится с использованием следующей формулы:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

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

Результаты анализа конкурентных технических решений представлены в таблице 4.1.

Таким образом, анализ конкурентных технических решений показывает, что наиболее перспективным по техническим и экономическим критериям является реализация собственного варианта автоматизированной системы для двигательной установки Kirloskar. Благодаря анализу можно увидеть соответствие сильных и слабых сторон различных производителей. Такой анализ конкурирующих реализаций, которые существуют на рынке , необходимо осуществлять постоянно, так как в условиях рыночной экономики все находится в постоянном движении. Кроме того, анализ помогает вносить коррективы в научные исследования, чтобы обеспечивать конкурентоспособность своего товара.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Разработка АСУ для Kirloskar	АСУ компании HATZ	АСУ компани Vertigo	K ₁	K ₂	K ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надёжность	0,25	5	4	4	1,25	1	1
2. Помехоустойчивость	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
3. Простота и качество пользовательского интерфейса	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость	0,25	5	3	3	1,25	0,75	0,75
2. Длительность изготовления продукта с его последующей поставкой на рынок	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
4. Наличие сертификата качества научной разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
ИТОГО	1				4,9	4	4

Анализ конкурентных технических решений показывает, что наиболее перспективным по техническим и экономическим критериям является реализация собственного варианта автоматизированной системы для двигательной установки Kirloskar. Благодаря анализу можно увидеть соответствие сильных и слабых сторон различных производителей. Такой анализ конкурирующих реализаций, которые существуют на рынке, необходимо осуществлять постоянно, так как в условиях рыночной экономики все находится в постоянном движении. Кроме того, анализ помогает вносить

коррективы в научные исследования, чтобы обеспечивать конкурентоспособность своего товара.

4.3 FAST-анализ

FAST-анализ представляет собой метод, который базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат. FAST-анализ включает 6 стадий, которые будут описаны ниже.

4.3.1 Выбор объекта FAST-анализа

В качестве объекта FAST-анализа в данной работе выступает объект исследования – Автоматизированная система управления процессом сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания. Внедрение такой системы позволит минимизировать расходы топлива, повысить динамику процесса горения, поспособствует снижению антропогенных выбросов и повышению полноты его выгорания, улучшит качества и в тоже время удешевит процесс подготовки, распыления и сжигания топлива.

4.3.2 Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом

В рамках данного раздела объект FAST-анализа анализируется с позиции функционального устройства, определяются его главные, основные и вспомогательные функции. Главная функция 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 виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование	Выполняемые функции	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательные
1. Автоматизированная система	Обеспечивает повышение эффективности управления объектом исследования	X		
2. Программные средства	Позволяет выполнять комплекс программ или отдельных задач		X	
3. Аппаратные средства	Режим автоматического управления		X	
4. Персонал	Режим ручного управления		X	
5. SCADA-системы	Обеспечивает визуализацию технологического процесса			X
6. Организационные мероприятия	Направлены на успешное внедрение системы и на безопасное ведение технологического процесса			X

4.3.3 Определение значимости выполняемых функций объектом

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 4.3). Функции определены согласно таблице 4.2 в порядке упоминания.

Таблица 4.3 – 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	<	<	<	<	<	=

На втором этапе преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – 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

В рамках третьего этапа определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так для функции 1 относительная значимость равна $8,5/36 = 0,24$, для функции 2 – 0,18; для функции 3 – 0,18; для функции 4 – 0,18; для функции 5 – 0,13; для функции 6 – 0,09.

4.3.4 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 4.5. Данная информация приведена с учетом средних затрат на выполнения функций 1-6.

Таблица 4.5 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование Функции	Стоимость оборудования, руб	Зарботная плата, Руб	Себестоимость, руб
Функция 1	600 000	300 000	800 000
Функция 2	200 000	0	200 000
Функция 3	300 000	0	300 000
Функция 4	30 000	250 000	280 000
Функция 5	50 000	30 000	80 000
Функция 6	20 000	20 000	40 000

4.3.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, в данном разделе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (рисунок 4.1). Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них.

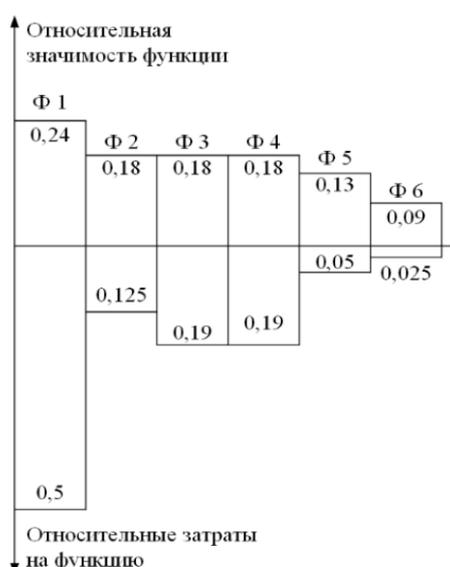


Рисунок 4.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

По результатам анализа приведенной выше функциональностоимостной диаграммы рассогласования между затратами и значимостью функций не обнаружено, поэтому проведение работ по ликвидации диспропорций не требуется.

4.3.6 Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве конкретных шагов по оптимизации функций, выполняемых объектом, предлагается выполнить следующее: оптимизация технических параметров и параметров надежности; применение новых методов к разработке автоматизированных систем, а также улучшение взаимодействия персонала и оборудования для получения еще более ресурсоэффективной и высокотехнологической разработки.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в следующем порядке :

- определяется порядок работ в рамках технического исследования ;
- определяются исполнители каждой работы;
- устанавливается продолжительность работ;
- осуществляется построение графика научных исследований.

Создается рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер (магистрант). На каждый вид запланированных работ устанавливается определенная должность исполнителей.

Составляется список основных видов работ в рамках проведения научного исследования. Производится распределение участников по видам их работ. Последовательность работ и распределение участников по данным видам работ представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей при разработке автоматизированной системы управления процессом сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания

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	25
5. Анализ объекта автоматизации	И	5

Продолжение таблицы 4.7

Содержание работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях
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	5
11. Согласование результатов	НР, И	4
Итого	НР	10
	И	106

Таким образом, согласно таблице 4.7 работа состоит из 11 основных этапов. Основная часть всех работ реализовывается инженером. Решение совокупности всех работ позволит реализовать проект. По данным таблицы 4.8 построен календарный план-график проведения НИИ в виде диаграммы Ганта (таблица 4.8). На основании полученной диаграммы видно, что работы начинаются с 3 декады февраля и заканчиваются в начале второй декады июня.

Таблица 4.8 – 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	25		■	■	■	■							
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	5											■	
11	Согласование результатов	4											■	■

НР – ■; И – ■.

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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.

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

К материальным затратам относятся: покупные материалы, канцелярские принадлежности, картриджи для МФУ и др.

Таблица 4.9 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм-ия	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Бумага для печати	пачка	2	550	1100
Скоросшиватель	шт.	2	15	30
Краска для принтера	шт.	1	600	600
Ручки	шт.	3	30	90
Мультифоры	шт.	15	3	45
Карандаши	шт.	3	10	30
Итого:				1895

Итоговые материальные затраты составили 1895 рублей. Цены на все

позиции взяты средние по городу Томску.

4.5.2 Амортизация

Проведем расчёт амортизации отчислений. Амортизация рассчитывается для оборудования свыше 40 тыс. руб.

В зависимости от балансовой стоимости оборудования и согласно действующему законодательству производится расчет амортизационных отчислений с целью определения необходимых денежных средств на полное восстановление. При проектировании используется ноутбук фирмы Asus(модель ASUS Laptop F509FA-BQ752T), стоимость которого составляет $C_{\text{ОБОР}} = 60000$ руб.

Сумма амортизационных отчислений определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{ИСП}}}{T_{\text{Г}}} \cdot \frac{1}{T_{\text{СЛ}}} \cdot C_{\text{ОБОР}} = \frac{120}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 60000 = 6575 \text{ руб,}$$

где $T_{\text{ИСП}}$ – количество времени, в которое активно использовалось оборудование = 120 календарных дней; $T_{\text{Г}}$ – количество времени максимально возможного использования оборудования в год = 365 календарных дней; $T_{\text{СЛ}}$ – срок службы оборудования = 3 года.

4.5.3 Основная заработная плата исполнителей

Основная заработная плата – это оплата труда всех участников данного исследования (научного руководителя и дипломника) .

Расходы на заработную плату определяются, исходя из трудоемкости выполняемых видов работ с учетом действующих окладов и тарифных ставок организации.

Согласно трудовому кодексу на основании отраслевой оплаты труда формируется основная заработная плата. В Томском политехническом университете отраслевая система оплаты труда включает следующий состав

заработной платы:

1) основной частью является оклад, определяемый организацией. В Томском политехническом университете оклады всех сотрудников распределены в соответствии с занимаемыми должностями и научными званиями.

2) одним из немаловажных составляющих заработной платы являются стимулирующие выплаты, которые устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, а также успешное выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты ;

4) районный коэффициент.

Заработная тарифная ставка за месяц работы без учета районного коэффициента составляет:

- научный руководитель (профессор) – 54900 рублей ;
- инженер (дипломник) – 17 000 рублей.

Полная заработная плата включает в себя основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p ,$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;.

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн..

Среднедневную заработную плату рассчитаем по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года :

- при отпуске в 28 раб. дня $M=11$ месяцев, 5-дневная неделя ;
- при отпуске в 56 раб. дней $M=10$ месяцев, 6-дневная неделя;
- $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени
научнотехнического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot K_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$K_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Затраты по дополнительной заработной плате участников исследования учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Рассчитаем дополнительную заработную плату по данной формуле:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,13).

Приведем пример для расчета заработной платы для научного руководителя, работающего по шестидневной рабочей неделе:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot K_{\text{р}} = 54900 \cdot 1,3 = 71370 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{71370 \cdot 10}{365 - 78 - 56} = 3089 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 3089 \cdot 21 \approx 64869 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 64869 \cdot 0,13 = 8432,97 \text{ руб.},$$

Пример для расчета заработной платы для дипломника (пятидневная рабочая неделя):

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot K_{\text{р}} = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{22100 \cdot 11}{365 - 130 - 28} = 1174 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 1174 \cdot 120 = 140880 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 140880 \cdot 0,13 = 18314,4 \text{ руб.},$$

Результаты расчета заработной платы научного руководителя и дипломника приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб	$K_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$,руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$K_{\text{доп}}$	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Научный руководитель	54900	1,3	71370	3089	21	64869	0,13	8432,97
Дипломник	17000	1,3	22100	1174	120	140880	0,13	18314,4

В результате были определены ставки у исполнителей и посчитана основная заработная плата у научного руководителя и дипломника. Итоговая основная зарплата вышла больше у инженера, поскольку ее определение зависело от количества рабочих дней за выполнением проекта.

4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В этом разделе отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Определяем величину отчислений во внебюджетные фонды опираясь из следующей формулы:

$$З_{внеб} = K_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $K_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Составляет 30.2% в ТПУ.

Таблица 4.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Руководитель	Дипломник
Основная заработная плата, руб.	64869	140880
Дополнительная заработная плата, руб.	8432,97	18314,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого отчисления во внебюджетные фонды:	22137,2	48077

В данном разделе определены итоговые отчисления во внебюджетные фонды всех исполнителей.

4.5.5 Накладные расходы

С помощью накладных расходов организации учитывают прочие затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. Например, оплата электроэнергии, интернета, ксерокопирование материалов исследования и т.д.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{накл} &= 0,16 \cdot (Z_{мат} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + Z_{ам}) \\ &= 0,16 \cdot (1895 + 205749 + 26747,37 + 70214,2 + 6575) = 49789 \text{ руб.} \end{aligned}$$

В итоге накладные расходы составляют 49789 рублей.

4.5.6 Формирование затрат научно-исследовательского проекта

Бюджет затрат проекта формируется на основе рассчитанной величины затрат научно-исследовательской работы (проекта). При составлении договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку необходимой продукции.

Таблица 4.12 – Бюджет затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	В % к итогу
1. Материальные затраты НИИ	1895	0,52
2. Затраты по основной заработной плате	205749	57,04
3. Затраты по дополнительной заработной плате	26747,37	7,4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	70214,2	19,4
5. Амортизация	6575	1,82
6. Накладные расходы	49789	13,8
Бюджет затрат НИИ	360969,57	100

Бюджет всех затрат НИИ составляет 360969,57 рублей. Самый большой процент бюджета составляет основная заработная плата – 205749 рублей.

4.6 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научного исследования определяется с использованием интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности ;

a_i – весовой коэффициент проекта ;

b_i – балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчеты интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Помехоустойчивость	0,10	5
2. Безопасность	0,25	5
3. Надежность	0,25	5
4. Энергосбережение	0,2	5
5. Удобство эксплуатации и использования	0,10	4
6. Материалоемкость	0,10	4
Итого:	1,00	4,8

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,1 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,8 .$$

4.7 Вывод по разделу Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках данного раздела 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.

Интегральный критерий ресурсоэффективности имеет высокий показатель (4,8 из 5), что говорит об эффективности использования проекта . Исследования выполнялись исполнителями: научным руководителем (21 дней) и дипломником (120 дней). На исследование потрачено 360969,57 рублей .

На основе всех результатов НТИ можно считать успешным.

Реализация сжигания жидкой топливной смеси в двигательной установке позволит минимизировать расходы топлива , повысить динамику процесса горения, поспособствует снижению антропогенных выбросов и т.д.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Исмаил Али

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

Тема ВКР:

<i>Автоматизированная система управления процессом сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объектом исследования в данной работе является втоматизированная система управления процессом сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <p>1.1 специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>1.2 организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>ГОСТ 12.0.003-2015;</i> – <i>ТК РФ N 197-ФЗ;</i> – <i>Конституция РФ.</i>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</p> <p>2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.</p> <p>2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>отклонение показателей микроклимата;</i> – <i>превышение уровня шума;</i> – <i>нарушение естественного света;</i> – <i>недостаточная освещенность;</i> – <i>опасность поражений эл. током;</i> – <i>повышенная температура воздуха;</i> – <i>подвижные части производственного оборудования либо движущиеся машины и механизмы;</i> – <i>вещества, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека.</i>
<p>3. Экологическая безопасность:</p> <p>3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</p> <p>3.2. Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.</p> <p>3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие вредных выбросов (CO₂, NO_x, SO₂ и т.д.) при работе оборудования.</i>

<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.</p> <p>4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта.</p> <p>4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</p>	<p><i>– возможные ЧС – поражение электрическим током, возгорание; – наиболее типичная ЧС – возгорание.</i></p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Исмаил Али		

5 Социальная ответственность

К вопросам социальной ответственности в лабораторных условиях относятся: правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности; профессиональная социальная безопасность; экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно технические, санитарно-гигиенические, лечебно профилактические, реабилитационные и иные мероприятия. Главной задачей охраны труда является создание условий для безопасной трудовой деятельности человека, т. е, создание таких условий труда, которые исключают воздействия вредных факторов производства на рабочих.

В данной работе была спроектирована автоматизированная система подготовки и сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания. Предполагается, что данная система будет устанавливаться в лаборатории для проведения научных исследований. Для обеспечения работоспособности данной системы необходим оператор, который будет отслеживать расход топлива, контролировать основные параметры (температуру и давление) и производить обслуживание системы. Помещение, в котором будет работать оператор, состоит из двух рабочих мест. При выполнении этих работ на оператора могут воздействовать следующие вредные факторы: повышенная температура воздуха рабочей зоны; повышенная влажность; повышенная загазованность воздуха; недостаточная освещенность рабочего места; физические перегрузки; воздействие открытого огня.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция [60], 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, интеллектуальной или научной деятельности; единые нормативные требования по охране труда; защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев. Действующим нормативом по охране труда является ГОСТ 12.0.004-2015 [61].

5.1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Оператор в лаборатории двигательных установок обязан проходить инструктаж по технике безопасности раз в 3 месяца, так же соблюдать правила пожарной безопасности и не оставлять оборудование без присмотра. Предприятие или высшее учебное заведение, к которому относится лаборатория, должно обеспечить оператора спецодеждой, спец-обувью и другими средствами защиты. Остановка работы двигателя должна проводиться во всех аварийных случаях при превышении установок по температуре и давлению в камере сгорания, системе смазки и охлаждения. В конце работы оператор должен сдать дежурство, сделав отметку в журнале. Также оператору должны выдаваться средства индивидуальной защиты дыхательных путей.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в лаборатории с двигательной установкой является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении рабочего процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Согласно ТК РФ, N 197-ФЗ [62] каждый работник имеет право на охрану труда, в том числе: на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов; на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей; на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

5.2 Профессиональная социальная безопасность

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

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

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

При проведении исследований и дальнейшей разработки проектируемого решения согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [63], в таблице 5.1

приведен перечень возможных опасных и вредных факторов. По результатам анализа объекта исследования выделены 7 наиболее типичных вредных и опасных факторов.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. Отклонени показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96 [64]. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [65]. Шум. Общие требования безопасности. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[66]. Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 [67]
2. Превышение уровня шума		+	+	
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5. Опасность поражений электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [68]. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. Повышенная температура воздуха		+	+	ГОСТ Р 30331.4-95 [69]. Защита от тепловых воздействий.
7. Подвижные части производственного оборудования		+	+	ГОСТ Р 56257-2014 [70] Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация
8. Вещества, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека			+	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарногигиенические требования к воздуху рабочей зоны [71]

По результатам таблицы 5.1 проведен более подробный анализ выделенных восьми возможных вредных и опасных факторов с обоснованием мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Отклонение показателей микроклимата. Находясь на рабочем месте в помещении лаборатории человек подвержен влиянию определённых метеоусловий, или микроклимату рабочих помещений. Окружающая среда влияет на тепловое состояние организма. Основными параметрами микроклимата являются действующими на организм человека температура, влажность и скорость движения воздуха, а также температура окружающих поверхностей [70].

При работе с двигательной установкой персонал в основном будет задействован работой с ПК. Работа на ПК в офисном помещении относится к классу легких работ с энергозатратами 150 ккал/час, т.е. к классу работ Ib. Для данного типа работ допустимые величины микроклиматы должны обеспечиваться при следующих условиях: перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С; перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 4 °С. Оптимальная величина относительной влажности составляет 40 – 60 %. Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. Скорость движения воздуха не должна превышать 0,05 м/с.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [64] оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать данным таблицы 5.2:

Таблица 5.2 – Нормативные параметры микроклимата

Период года	Влажность, %	Температура, °С	Скорость движения воздуха, м/с
Тёплый	60... 40	22... 24	менее 0,1
Холодный	60...40	21... 23	менее 0,1

В таблице 5.3 приведены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах. В нашем помещении температура зимой колеблется от плюс 20 °С до плюс 22 °С, а летом от плюс 22 °С до плюс 24 °С. Влажность воздуха 60 %, скорость движения воздуха – 0,05 метров в секунду.

Таблица 5.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Энергозатраты, Вт	Температура воздуха, °С		Отн. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		ниже нормы	выше нормы		ниже оптимальных величин, не более	выше оптимальных величин, не более **
Холодный	16 (140...174)	19,0...20,9	23,1...24,0	15...75	0,1	0,2
Теплый	16 (140...174)	20,0...21,9	24,1...28,0	15...75 *	0,1	0,3

Примечание: * При температурах воздуха 25° С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии со специальными требованиями; ** При температурах воздуха 26...28° С скорость движения воздуха в теплый период года должна приниматься в соответствии со специальными требованиями

Параметры микроклимата регулируются системой центрального отопления и вентиляцией [70]. Также для поддержания нормального микроклимата необходимо ежедневно проводить влажную уборку и проветривание помещения, а также поддерживать определённый уровень температуры. Согласно, приведённым выше данным, данное помещение удовлетворяет условиям микроклимата.

Превышение уровня шума. Одним из методов уменьшения воздействия шума в лаборатории является снижение или ослабление шума в его источниках – генераторы, электрические машины, вентиляторы, двигатели. Ненормальный повышенный шум, создаваемый электрическими машинами и двигателями, часто бывает по причине неплотных соединений элементов. Своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума. Также при наличии шума необходимо использовать материалы, имеющие хорошие звукопоглощающие свойства (применять звукоизоляцию). Стены могут быть покрыты звукопоглощающим материалом. В таблице 5.4 приведены допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-2014 [65]).

Таблица 5.4 – Допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-2014 [65])

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

Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны. Рациональное освещение имеет большое значение в процессе эксплуатации двигательной установки в лабораторных условиях. Освещение должно быть таким, чтобы работающий персонал мог без напряжения зрения выполнять свою работу. Неудовлетворительное освещение может искажать информацию, а также утомляет зрение и вызывает утомление всего организма в целом. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. При недостаточном естественном освещении помещения необходимо использовать искусственные источники света. Так как неудовлетворительная освещённость, как говорилось ранее, ухудшает зрение,

вызывает общее утомление и даже может явиться причиной травматизма. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы. Для участков, где требуемая освещенность, превышает 3 лк (СНиП 23.05-95 [66]) необходимо предусмотреть общее локализованное освещение. Это выключатели, генераторы, указатели масла и т.д. Общее локализованное освещение следует осуществлять осветительными приборами, устанавливаемыми на порталах, конструкциях и мачтах равномерного освещения. В качестве осветительных приборов применяют газоразрядные лампы. В таблице 5.5 приведены нормы освещенности участков лаборатории с двигательной установкой [66].

Таблица 5.5 – Нормы освещенности открытых участков лаборатории с двигательной установкой [66]

Освещаемые объекты	Средняя освещенность $E_{ср}$, лк, не менее
Лаборатории органической и неорганической химии, термические, физические, спектрографические, стилometric, фотометрические, микроскопные, рентгеноструктурного анализа, механические и радиоизмерительные, электронных устройств, препаративные.	400

Опасность поражений электрическим током. Наибольшую опасность в помещении лаборатории может представлять поражение человека электрическим током вследствие замыкания электрической цепи через тело человека, т. е. при прикосновении человека к сети не менее чем в двух точках. В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. «Правила устройства электроустановок» [72] делят все помещения на помещения с повышенной опасностью, особо опасные помещения, помещения без повышенной опасности. Согласно ГОСТ 12.1.013-78. ССБТ помещение лаборатории с

двигательной установкой можно классифицировать как помещение с повышенной опасностью поражения человека электрическим током [68].

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях: при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта; при однофазном (однополюсном) прикосновении незащищенного от земли человека к незащищенным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением; при прикосновении к незащищенным частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции; при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Меры обеспечения безопасности эксплуатации электроустановок [68]: каждый работающий проходит вводный инструктаж на рабочем месте и расписывается в том, что он ознакомлен с инструкцией по технике безопасности; отключение напряжения с токоведущих частей, на которых должна быть проведена работа, и принятие мер, в результате которых становится невозможна подача напряжения к месту работы; проверка отсутствия напряжения на участке работ и наложение на токоведущие части временного заземления; вывешивание плакатов, указывающих место работы; пользователю не разрешается разбирать оборудование, работать в верхней одежде.

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Для обеспечения безопасности применяются технические средства защиты от поражения электрическим током, такие как изоляция токопроводящих частей (проводов); установка ограждающих устройств; предупредительная сигнализация и блокировки; защитное заземление; зануление; защитное отключение.

Для участка персональных компьютеров наиболее приемлемым вариантом является защитное заземление, т. к. корпуса компьютеров и периферии обычно выполнены из токопроводящих материалов, а также имеются специальные клеммы для подключения заземления. Все

электрооборудование, расположенное на рабочем месте, включая компьютер, было заземлено через нулевой провод.

Повышенная температура воздуха. Во время работы с двигательной установкой некоторые части оборудования сильно нагреваются, особенно части корпуса двигателя. Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам. Согласно ГОСТ Р 30331.4-95 [69] мерами предосторожности являются при работе с нагревающимся оборудованием: не прикасайтесь к нагретым частям оборудования во время его работы (или после завершения работы при остывании); 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 специальные рукавицы для защиты рук от ожогов и специальную одежду.

Подвижные части производственного оборудования. Существует опасность получения травмы подвижными элементами двигательной установки. Перед включением двигательной установки следует убедиться в отсутствии каких-либо препятствий на пути движущихся частей.

Согласно ГОСТ Р 56257-2014 [70], мерами предосторожности являются: при эксплуатации двигателя необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами; запрещается эксплуатация двигателя при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов. Продолжать работу разрешается только после устранения причин неисправностей специалистами; при эксплуатации необходимо следить за чистотой всех механизмов двигателя, периодически очищать их от пыли и грязи. Обтирочные материалы, которыми очищается модуль, не должны оставлять следов и ворса на протираемых поверхностях.

Вещества, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека. Опасными факторами при использовании дизельного двигателя: является наличие вредных выбросов, как в атмосферу, так и в

помещении, где установлен агрегат, а также высокая степень пожарной и взрывной опасности. Для уменьшения количества концентрации выбросов проводят следующие профилактические мероприятия: установка очистительного оборудования для выхлопных газов, герметизация технологических отверстий дизельного двигателя, добавление дополнительных составляющих топлива, способствующих снижению концентраций выбросов. Для уменьшения загазованности в помещении устанавливается вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция в помещении работает постоянно.

5.3 Экологическая безопасность

По результатам анализа вредных выбросов при работе двигательной установки выявлено, что среди опасных загрязняющих выбросов, выделяющихся при работе двигателя, являются: монооксид углерода CO , оксиды азота NO_x , оксиды серы SO_x .

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ двигательной установки, обусловленные процессами сгорания органического 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 двигателя.

Наибольшую опасность для биосферы и для здоровья человека представляют двигатели, не имеющие средств очистки от вредных выбросов.

5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения количества вредных выбросов необходимо контролировать расход воздуха в двигательной установке. Ведь при нехватке окислителя, возникает большой недожог топлива, что приводит к увеличению количества отходов процесса сжигания топливной композиции. А при избытке воздуха образуются оксиды азота. Также важным аспектом является регулирование температуры в камере сгорания, поскольку от данного параметра зависит количество вредных выбросов. Уменьшить количество вредных выбросов возможно путем внедрения в систему управления двигательной установкой управляющих и регулирующих органов по температуре и расходу воздуха (регуляторы температуры и расхода воздуха). Информация о значениях температуры и расхода воздуха приходит на регуляторы через соответствующие датчики. Также в качестве средств для борьбы с вредными выбросами используются уловители и нейтрализаторы вредных веществ.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

В лаборатории с двигательной установкой наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку, во-первых, топливо необходимо складировать (есть риск его воспламенения), во-вторых, сжигание топлива происходит при высоких температурах в камере сгорания.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние канистр с топливом путем внешнего осмотра и измерения температуры в помещении. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, наличие пятен утечек топлива. Если появились признаки самовозгорания топлива, то необходимо устранить эти проблемы. Для устранения этих проблем

применяются специальные огнетушащие составы для борьбы с воспламенением горючих веществ.

Самой распространенной причиной возникновения пожара в лаборатории с двигательной установкой является нарушение противопожарных правил. Поэтому обслуживающий персонал при работе с двигательной установкой должен эти правила хорошо знать и выполнять. Необходимо периодически проводить мероприятия по технике безопасности.

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

В качестве мероприятий по предотвращению ЧС были проведены следующие противопожарные мероприятия: помещение было оборудовано : средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; проверена исправность электрической проводки осветительных приборов и электрооборудования ; персонал знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи ; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по техники безопасности.

Для тушения пожаров в помещении с компьютерами необходимо применять углекислотные и порошковые огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. В лаборатории, в которой выполнялась работа, имеется пенный и углекислотный огнетушитель.

5.5 Выводы по разделу Социальная ответственность

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

- в работе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, указаны специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны;
- рассмотрена профессиональная социальная безопасность;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие в лаборатории с двигательной установкой;
- указаны методики и средства борьбы с вредными и опасными факторами;
- рассмотрена экологическая безопасность;
- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению.

Заключение

В рамках магистерской диссертации была разработана Автоматизированная система управления процессом сжигания композиционных топлив в двигателе внутреннего сгорания.

В ходе научных исследований было установлено, что использование биодизельного топлива приводит к снижению процентного содержания загрязняющих веществ и уменьшению расхода ископаемого топлива, а значит, к уменьшению инерционности воспламенения топливных комбинаций, увеличению полноты их сгорания, снижению расхода топлива и регулярное распыление топлива в камере сгорания.

Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень включает датчики измерения температуры, давления, расхода, уровня, концентрации, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается контроллер фирмы Siemens, на верхнем уровне – АРМ оператора, щит серверный, панель визуализации и принтер.

В ходе выполнения магистерской диссертации разработана проектная документация: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая щита управления, схема монтажная внешних проводок, сборочный чертеж и общий вид щита управления.

Пояснительная записка к проекту содержит подробное описание основного оборудования, приборов и технических средств автоматизации, а также мнемосхема и алгоритмы управления. При выборе приборов руководствовались каталогами и сайтами производителей.

Также выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. – М.: Энергия, 1985. – 340 с.
2. Ключев А.С., Товарнов А.Г. Настройка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. -280 с.
3. Андык В.С. Автоматизация технологических процессов на ТЭС. Учебное пособие к практическим занятиям. - Томск: Изд. ТПУ, 1999-84 с.
4. Кац М.Д. Расчет системы автоматического регулирования температуры перегретого пара парогенератора. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине "Автоматизация технологических процессов на ТЭС" для студентов специальности 220301 "Автоматизация технологических процессов и производств". – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 38 с.
5. Vairamuthu G, Sundarapandian S, Thangagiri B. Experimental investigations on the influence of properties of Calophyllum inophyllum biodiesel on performance, combustion, and emission characteristics of a DI diesel engine. *Int J Ambient Energy* 2016;37(6):616–24.
6. Sathasivam D, Voopathi M, Balachandran S, Gobinath R. Experimental Investigation of Performance and Emission Characteristics of Diesel-Bio Diesel (CSOME) with Nano Additive Blends in CI Engine. *Adv Automob Eng* 2018;07(01).
7. Mahesh SE, Ramanathan A, Begum KMMS, Narayanan A. Biodiesel production from waste cooking oil using KBr impregnated CaO as catalyst. *Energy Convers Manag* 2015;91:442–50.
8. Çelik M, Bayındırlı C, Mehregan M. Multi-objective optimization of a diesel engine fueled with different fuel types containing additives using grey-based Taguchi approach. *Environ Sci Pollut Res* 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18012-1>.

9. Demirbas A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Convers Manag* 2008;49(8):2106–16. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>.
10. Coyle W. The Future of Biofuels: A Global Perspective. In: *Amber Waves*, 24–29 (2007).
11. Abbaszaadeh Ahmad, Ghobadian B, Omidkhah MR, Najafi G. Current bio-diesel production technologies: a comparative review. *Energy Convers Manage* 2012;63:138–48.
12. Lawrence P, Koshy Mathews P, Deepanraj B. Effect of prickly poppy methyl ester on CI engine performance and emission characteristics. *Am J Environ Sci* 2011;7(2):145–9.
13. Hosseini SE, Wahid MA. Necessity of bio-diesel utilization as a source of renewable energy in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16(8):5732–40.
14. Srinivasa Rao M, Anand RB. Production characterization and working characteristics in DICI engine of Pongamia bio-diesel. *Ecotoxicol Environ Saf* 2015;121:16–21.
15. Lloyd AC, Cackette TA. Diesel engines: environmental impact and control. *J Air Waste Manag Assoc* 2001;51(6):809–47.
16. Kannan M, Karthikeyan R, Deepanraj B, Baskaran R. Feasibility and performance study of turpentine fueled DI diesel engine operated under HCCI combustion mode. *J Mech Sci Technol* 2014;28(02):729–37.
17. Mallikappa DN, Reddy RP, Murthy CSN. Performance and emission characteristics of double cylinder CI engine operated with cardanol bio fuel blends. *Renew Energy* 2012;38(01):150–4.
18. Ameer BS, Raja Gopal K, Jebaraj S. A review on bio-diesel production, combustion, emissions and performance. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13(6–7):1628–34.
19. Abbaszaadeh Ahmad, Ghobadian B, Omidkhah MR, Najafi G. Current bio-diesel production technologies: a comparative review. *Energy Convers Manage* 2012;63:138–48.

20. Lawrence P, Koshy Mathews P, Deepanraj B. Effect of prickly poppy methyl ester on CI engine performance and emission characteristics. *Am J Environ Sci* 2011;7(2):145–9.
21. Haldar SK, Ghosh BB, Nag A. Studies on the comparison of performance and emission characteristics of a diesel engine using three degummed non-edible vegetable oils. *Biomass Bioenergy* 2009;33(8):1013–8.
22. Saravanan S, Nagarajan G, Lakshmi Narayana Rao G, Sampath S. Feasibility study of crude rice bran oil as a diesel substitute in a DI-CI engine without modifications. *Energy Sustain Dev* 2007;11(03):83–92.
23. Naga Prasad CS, Vijaya Kumar Reddy K, Kumar BSP, Ramjee E, Hebbel OD, Nivendgi MC. Performance and emission characteristics of a diesel engine with castor oil. *Indian J Sci Technol* 2009;02(10):25–31.
24. Deepanraj B, Senthilkumar N, Sivaramakrishnan V, Santhoshkumar A, Lawrence P, Valarmathi R. Transesterified palm oil as an alternate fuel for compression ignition engine. *IEEE International Conference on Advances in Engineering, Science and Management, (IEEE – ICAESM 2012), India. 2012. p. 389–92.*
25. Deepanraj B, Dhanesh C, Senthil R, Kannan M, Santhoshkumar A, Lawrence P. Use of palm oil bio-diesel blends as a fuel for compression ignition engine. *Am J Appl Sci* 2011;8(11):1154–8.
26. Deepanraj B, Lawrence P, Sivashankar R, Sivasubramanian V. Analysis of preheated crude palm oil, palm oil methyl ester and its blends as fuel in diesel engine. *Int J Ambient Energy* 2016;37(05):495–500.
27. Возобновляемая энергия: Производство биотоплива / П.Д. Викаш Бабу, П.Д. Ашиш Таплиял, П.Д. Гириеш Кумар Патель. – Изд-во Scrivener Publishing LLC, 2014. – 250 с.
28. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов, А.В. Шахов. – М.: «Инженер», 2011. – 534 с.

29. Бурункова Ю.Э. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: Учебно-методическое пособие / Ю.Э. Бурункова, М.В. Успенская, Е.О. Самуйлова. – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 82 с.
30. Биодизель – инновационная разработка [Электронный ресурс]. – URL: <https://ineca.ru/?dr=library&library=bulletin/2009/0136/012> – Дата обращения: 29.03.2021.
31. L. A. Raman, B. Deeparaj, S. Rajakumar, и V. Sivasubramanian, «Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel», Fuel, т. 246, сс. 69–74, июн. 2019, doi: 10.1016/J.FUEL.2019.02.106.
32. Nabertherm. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecoanalytika.com/laboratornoe-oborudovanie/laboratornie-trubchatie-pechi> свободный. – Загл. с экрана.
33. Kumar A.R.M. A study on performance, emission and combustion characteristics of diesel engine powered by nano-emulsion of waste orange peel oil 149 biodiesel / A.R.M. Kumar, M. Kannan, G. Nataraj // Renewable Energy. – 2020 – Vol. 146 – P. 1781–1795.
34. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия 150 климатических факторов внешней среды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003320>. – Загл. с экрана.
35. ГОСТ 23170-78. Упаковка для изделий машиностроения. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200000260>. – Загл. с экрана.
36. ГОСТ Р 50648-94. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Технические требования и методы испытаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200027352>. – Загл. с экрана.

37. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200062134>. – Загл. с экрана.
38. ОТТ-35.240.50-КТН-187-06. Система автоматического регулирования. Общие технические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://niitn.transneft.ru/u/ovp_main_pdf_file/3881/ott-35.240.50-ktn-132-15_sr.pdf. – Загл. с экрана. ГОСТ Р 51317.4.4-2007.
39. ГОСТ 27889-88. Системы производственные гибкие. Системы транспортно-складские автоматизированные. [Электронный ресурс]. Параметры. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200022212>. – Загл. с экрана.
40. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. 2009.
41. МИ 2440-97. Методы экспериментального определения и контроля характеристик погрешности измерительных каналов измерительных систем и измерительных комплексов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gostrf.com/norma_data/46/46099/index.htm. – Загл. с экрана.
42. ГОСТ 23222-88. Характеристики точности выполнения предписанной функции средств автоматизации. Требования к нормированию. Общие методы контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200023326>. – Загл. с экрана.
43. Клюев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
44. Волошенко А.В., Медведев В.В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 120 с.

45. ГОСТ 21.403-80. СПДС. Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-21-403-80-spds>. – Загл. с экрана.
46. ГОСТ 2.785-70. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003851>. – Загл. с экрана.
47. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200108003>. – Загл. с экрана.
48. ГОСТ Р 53674-2009. Арматура трубопроводная. Номенклатура показателей. Опросные листы для проектирования и заказа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53674-2009>. – Загл. с экрана.
49. ГОСТ 21.110-95. Правила выполнения спецификации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-21-110-95-spds>. – Загл. с экрана.
50. Метран. Каталог продукции 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mtn.nt-rt.ru> свободный. – Загл. с экрана.
51. Овен. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.owen.ru/catalog> свободный. – Загл. с экрана.
52. Агава. Контрольно-измерительные приборы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kb-agava.ru/kontrolno_izmeritelnye_pribory/ свободный. – Загл. с экрана.
53. Умные КИП от АО «Эксис». Каталог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eksis.ru/catalog/> свободный. – Загл. с экрана.
54. Система автоматизации S7–300. Данные модулей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- http://www.ste.ru/siemens/pdf/rus/S7_300_Modul_Data_p1_r.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
55. ЭлеСи. Продукция. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products.aspx> свободный. – Загл. с экрана.
56. Новый системный каталог продукции Rittal. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rittal.com/ru-ru/ebook/ru_cat35/index.html свободный. – Загл. с экрана.
57. ГОСТ 21.101-97. Система проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200000429>. – Загл. с экрана.
58. Г. П. Плетнев. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. – М.: Энергия, 1985. – 340 с.
59. Ключев А.С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. – 280 с.
60. Баглай М. В. Конституционное право Российской Федерации. – М. : НОРМА-ИНФРА. М, 1999.
61. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136072>. – Загл. с экрана.
62. РФ Т. К. Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ //Российская газета. – 2001. – №. 256.
63. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071>. – Загл. с экрана.
64. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901704046>. – Загл. с экрана.

65. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>. – Загл. с экрана.
66. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/871001026>. – Загл. с экрана.
67. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>. – Загл. с экрана.
68. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200313>. – Загл. с экрана.
69. ГОСТ 30331.4-95 (МЭК 364-4-42-80). Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001338>. – Загл. с экрана.
70. ГОСТ Р 56257-2014. Характеристика факторов внешнего природного воздействия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118630>. – Загл. с экрана.
71. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608>. – Загл. с экрана.
72. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР, 6-е издание – Энергоатомиздат, 1996. – 640 с.

Приложение А

(справочное)

«Experimental Determination of the Ignition and Combustion Characteristics of Petroleum Diesel Droplets and Biodiesel Fuel Derived from Rapeseed Oil»

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Исмаил Али		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Вершинина К.Ю.	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

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

1 Introduction

Fuels based on petroleum and fossil fuels are limited in volume and cost. The problem of giving internal combustion engines (ICE) the necessary fuel resources will only become more important in the years to come [1]. Additional issues that require care when utilizing diesel as a fuel for internal combustion engines include increasing exhaust emissions and the cost of crude oil.

The health of humans is impacted by major polluting gases such as carbon monoxide, unburned hydrocarbons, and particulate matter, which also contribute to environmental pollution [2].

Due to these issues, it is critical to find an alternative fuel to replace diesel in order to alleviate these issues and combat climate change. One of these alternative fuels is biodiesel, which is produced by transesterifying biomass or plant seeds.

2 Experimental methods

2.1 Fuel compositions

One of the renewable energy sources that may be used in place of petroleum to power diesel internal combustion engines is biodiesel fuel (BioDT), often known as biodiesel [3].

BioDT is a liquid fuel consisting of fatty acid methyl or ethyl esters (FAME / FAFA) obtained as a result of interesterification of vegetable oils, animal fats, and microalgae lipids.

The basis of vegetable oils and animal fats is triglycerides (TG) (also called fats or triacylglycerols) - these are organic substances that are esterification products of carboxylic acids and trihydric alcohol glycerol.

Thus, the properties of BioDT will be determined by the length of the fatty acid chain and the presence of double bonds in the composition.

The properties of BioDT are in many respects similar to those of petroleum diesel fuel, but BioDT has a number of advantages. First of all, BioDT is a renewable

fuel, which is especially important given the current level of consumption of fossil fuels.

Rapeseed, sunflower, and other oilseeds contain oxidized hydrocarbons, mostly triglycerides of fatty acids, whose burning heat is comparable to diesel fuel.

Table 1 displays the fatty acid composition of rapeseed oil.

Table 1 - Fatty acid composition of rapeseed oil

Fatty acid name	Molecular weight, g/mol	Mass fraction, %
Tetradecanoic	228	0,2
Hexadecane	256	2,5 – 7
Eicosanoic	312	0,2 – 1,2
Docosane	340	0,6
Tetracosanoic	368	0,3
Octadecadiene	280	15 – 30
Oleic	282	51 – 70
Octadecadiene	278	5 – 14

Table 2 shows the composition of the biofuel.

Table 2 - Component composition of biofuels

Component	Mass fraction, %
Rapeseed oil	74
Methyl alcohol	25
potassium oxide	1

The composition of oil differs depending on the field from which it comes, and the same is true of diesel fuel. For diesel fuel, the following classes of hydrocarbons are most common: paraffinic hydrocarbons (10-40%); naphthenic hydrocarbons (20-60%); aromatic hydrocarbons (15-30%); heteroatomic compounds (in a small amount).

Paraffin hydrocarbons in the composition of diesel fuel can be in the form of both normal structure paraffins (n-paraffins) and isoparaffins. N-paraffins are

characterized by good self-ignition, yet at the same time degrade the fuel's low-temperature characteristics. Isoparaffinic hydrocarbons, on the contrary, have good low-temperature performance, but are characterized by poor self-ignition.

Naphthenic hydrocarbons (cycloalkanes) are distinguished by good low-temperature properties, good oxidative and thermal stability, and in self-ignition are between n-paraffins and aromatic hydrocarbons.

The presence of aromatic hydrocarbons in the composition of diesel fuel is undesirable, since they have poor flammability, when burned, they contribute to carbon formation and the emission of polycyclic aromatic hydrocarbons, the content of which is regulated according to [4].

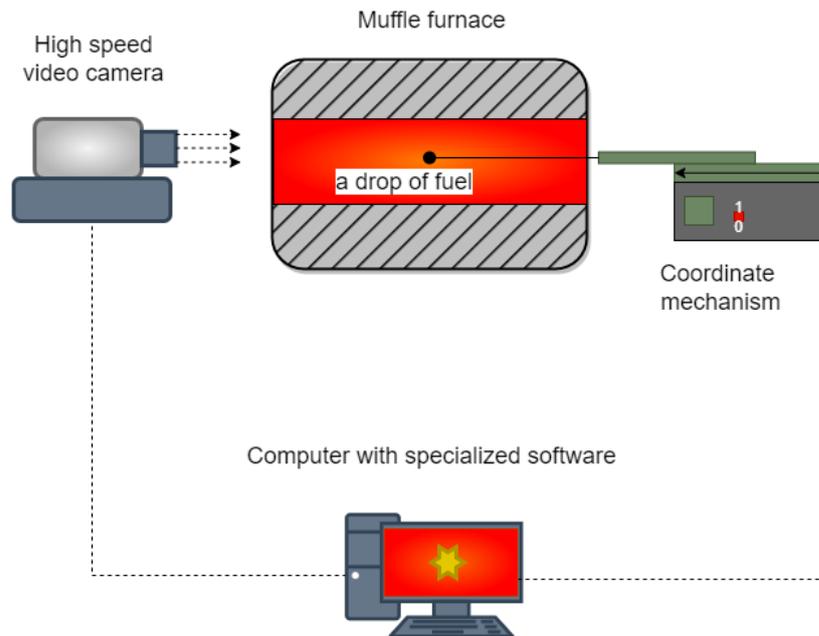
2.2 Experimental setup

The Nabertherm R 120/500/13 muffle furnace is a compact tube furnace with integrated control devices that can be used in a variety of processes. The furnace is equipped as standard with a working ceramic tube and two fiber plugs. It also has a built-in thermocouple to control the temperature of the muffle wall. The main technical characteristics of the furnace used are presented in Table 3.

Table 3 - Characteristics of the muffle furnace Nabertherm R 120/500/13

Maximum temperature	1300 °C
Built-in thermocouple type	Platinum-rhodium-platinum thermocouple (type S)
Maximum thermocouple measurement error, °C	In the range 600...1600 ±0.0025 T

Experimental determination of the characteristics of ignition and combustion of drops of petroleum diesel fuel and biodiesel fuel obtained from rapeseed oil was carried out using an experimental stand, the scheme of which is shown in Figure 1.



a



b

Figure 1 - Scheme (a) and appearance (b) of the experimental setup

The methodology for determining the ignition and combustion characteristics of petroleum diesel and rapeseed oil-derived biodiesel droplets included several steps. In the ceramic tube of the muffle furnace, the air temperature was set within 390...900°C. This temperature range ensures adequate functioning of the main elements of the stand - the muffle furnace without damage to the internal

elements of the latter as a result of high temperatures (the ceramic tube of the furnace).

The protection of the inner tube of the muffle furnace from prolonged exposure to high temperatures was carried out by placing inside it an additional tube of smaller diameter, made of heat-resistant material. Fuel opening supplied to the model combustion chamber and was carried out through the side opening of the furnace using an automated mechanism.

In the experiment fuels B6, B8, B10, B12, B50, B75, B100 were used and diesel fuel. A high-temperature stationary air medium (maximum temperature 1000°C) was created in a muffle furnace tube (inner diameter 50 mm, length 450 mm). A drop of fuel (initial diameter about 2.8 mm) located on a ceramic holder was introduced into a muffle furnace preheated to a temperature T_g using a coordinate mechanism.

The high-speed video camera was located on the movable platform of the coordinate mechanism, so the fuel drop was in the focal plane of the camera lens during the entire induction period. The input velocities (V_{in}) of fuel droplets into the furnace were 0.06, 0.08, 0.10 m/s. This factor affects the intensity of heat supply to the fuel, the droplet heating rate, and, as a result, the characteristics of the process are under study. The higher the value of V_{in} , the faster the fuel particle reaches the region with temperature T_g . The guaranteed value of this temperature was maintained in the middle part of the muffle furnace. Drops of the specified fuel were burned at temperatures (390...900 °C) and with the help of a specialized program on a computer, the combustion time of the fuel droplets was determined.

During the experiments, the following characteristics were recorded: ignition time (t_{delay}) of a fuel drop; minimum ignition temperature.

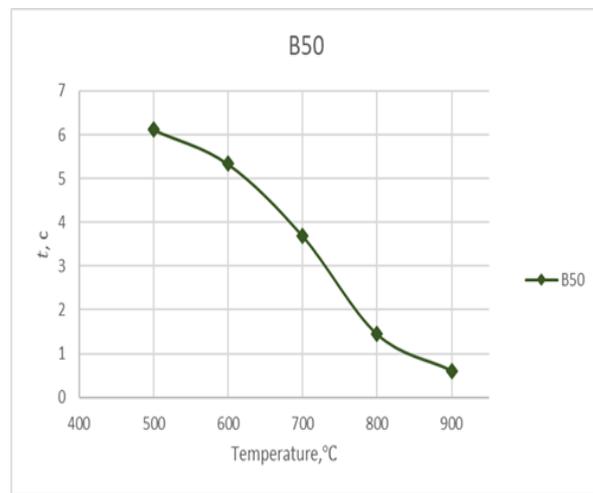
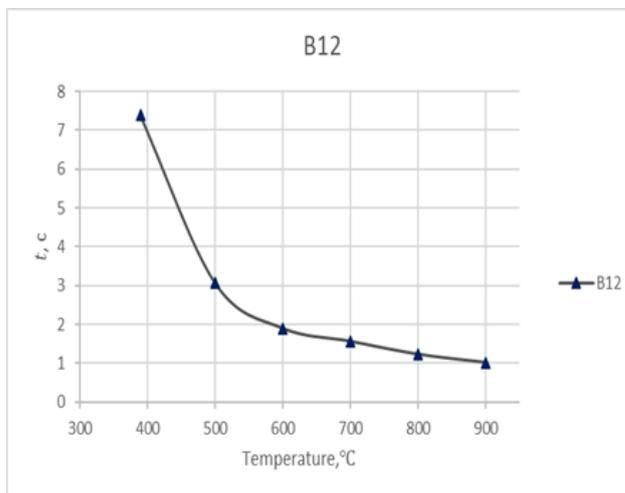
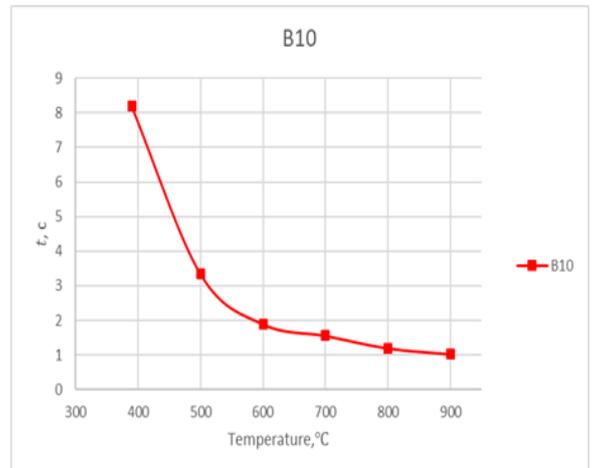
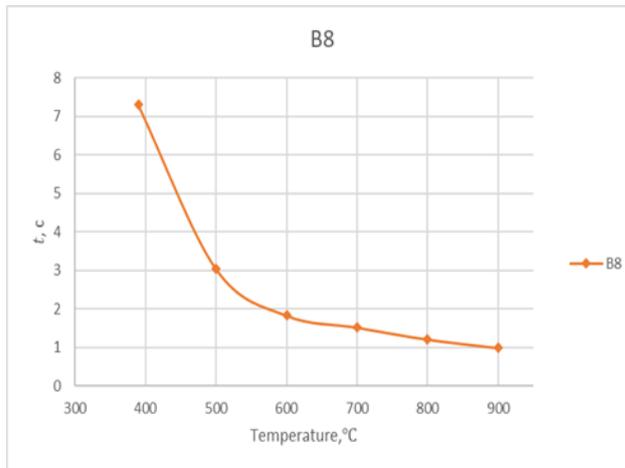
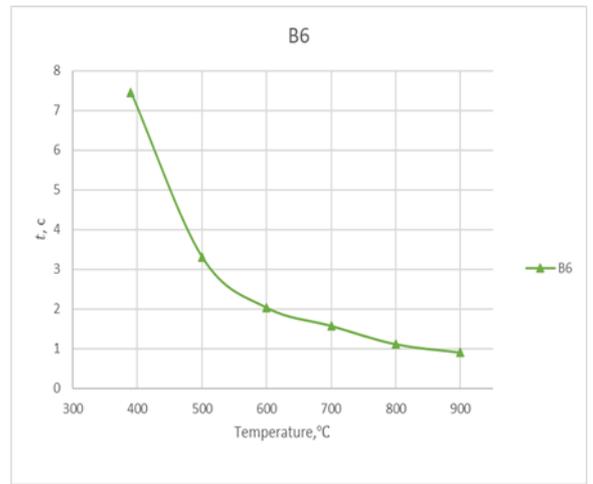
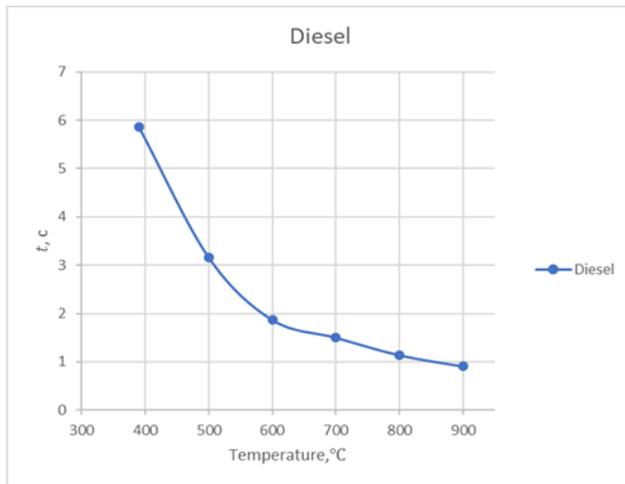
Under identical initial conditions ($T_g=const$, $V_{in}=const$), a series of 3–5 experiments were carried out for each fuel composition. Video recordings were processed using a commercial software package (Phantom Camera Control), which included averaging of the experimental results.

3 Results and discussion

The results of experiments to determine the ignition time when burning fuel samples in a muffle furnace are shown in Table 4.

Table 4 - Registered values of fuel ignition time

Ignition time t_{delay} , c					
Furnace temperature, °C	Diesel	B6	B8	B10	B12
390	5,866	7,451	7,301	8,194	7,395
500	3,164	3,314	3,043	3,344	3,07
600	1,868	2,034	1,825	1,894	1,897
700	1,501	1,575	1,515	1,558	1,561
800	1,137	1,115	1,205	1,197	1,227
900	0,905	0,906	0,984	1,027	1,015
Ignition time t_{delay} , c					
Furnace temperature, °C	B50	B75	B100		
500	6,117	5,868	5,642		
600	5,332	5,204	5,032		
700	3,690	3,551	3,283		
800	1,444	1,329	1,480		
900	0,611	0,634	0,830		



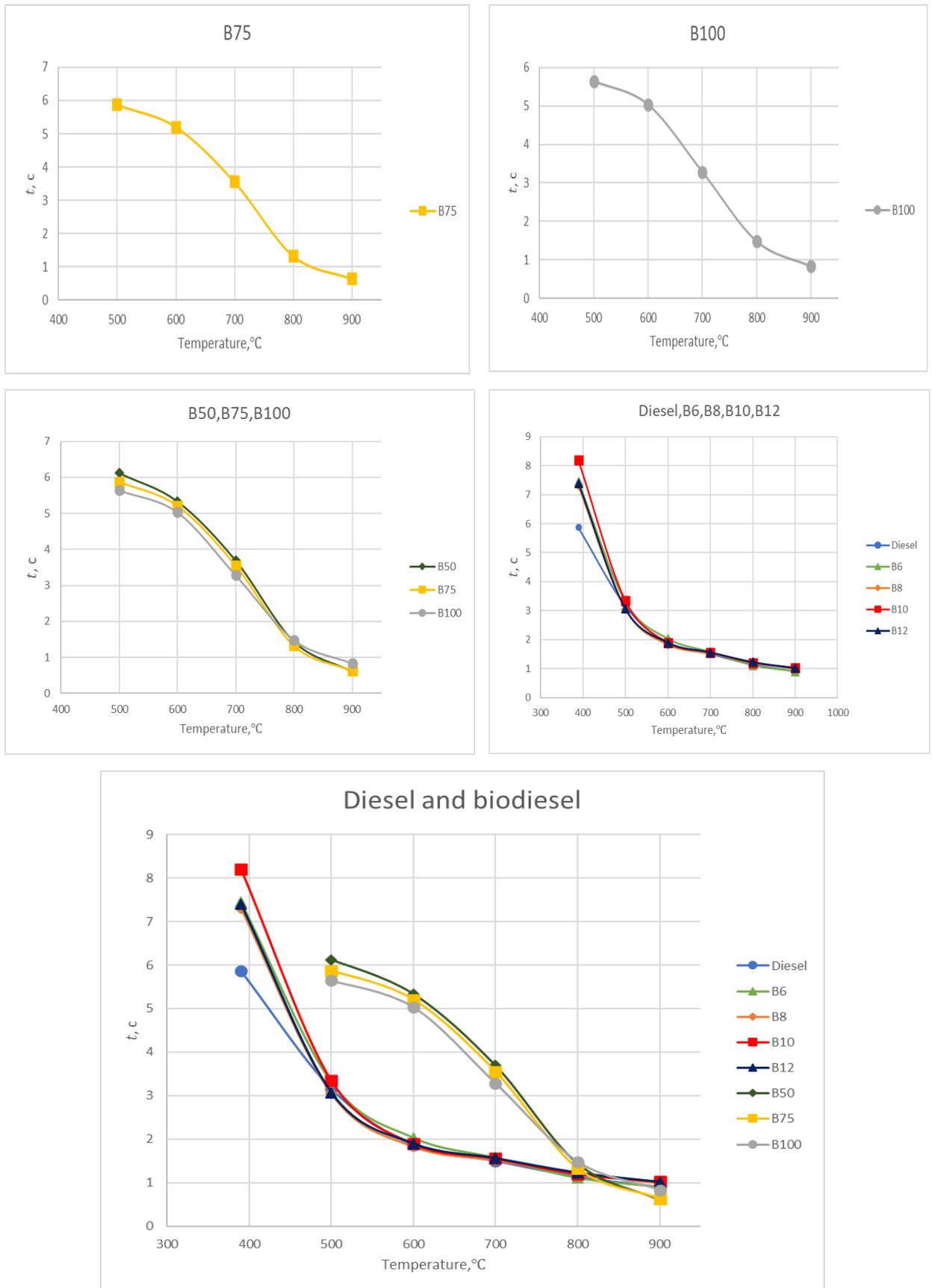


Figure 2 - Influence of temperature in the combustion chamber on the ignition delay times of diesel fuel droplets

It has been established how increase of temperature affects the reduction in the ignition time of fuels' droplets of different compositions.

The following inferences may be done due to the findings of the research included in the table:

1. Diesel fuel droplets ignite at a temperature of 390°C for a shorter time than other types of fuel, but with an increase in temperature (900°C). The difference in the ignition time of diesel fuel droplets did not exceed 8-13% from the ignition time of other fuel droplets.

2. The equality of the ignition time of fuel droplets for different types of fuel with increasing temperature indicates the possibility of using biodiesel in internal combustion engines operating at high temperatures.

3. The results show that the fuel with the shortest droplet ignition delay time at 900°C is B50 biodiesel.

4. Biodiesel can be used in any diesel engine with little or no modification and is safer than conventional diesel fuel.

5. The use of biofuels reduces the percentage of polluting gases, reduces the consumption of fossil fuels and promotes the use of alternative fuels and clean energy sources.

Based on Figure 2, the percentage difference between the ignition delay of pure diesel droplets and mixed fuel droplets as a function of the temperature in the muffle furnace is determine, as shown in Table 5.

Table 5 - compares the percentage difference in ignition delay between drops of pure diesel fuel and drops of mixed fuel based on the muffle furnace's temperature.

Relative difference							
Furnace temperature, °C	B6	B8	B10	B12	B50	B75	B100
500	4,74%	3,82%	5,69%	2,97%	93,33%	85,46%	78,32%
600	8,89%	2,30%	1,39%	1,55%	185,44%	178,59%	169,38%
700	4,93%	0,93%	3,80%	4%	145,84%	136,58%	118,72%
800	1,93%	5,98%	5,28%	7,92%	27%	16,89%	30,17%
900	0,11%	8,73%	13,48%	12,15%	32,49%	29,94%	8,29%

The ignition delay time at 500 °C for drops of pure diesel differs from drops of mixed fuel (B6) by 4.74%.

Conclusion

It is noted that as the temperature in the muffle furnace increases, the percentage difference between the ignition delay time of pure diesel fuel droplets and mixed fuel droplets decreases. The best result was with B50 diesel blended fuel at 900°C, as it burns in less time than other types of fuel, and this fuel is suitable for combustion in internal combustion engines, especially since they operate at high temperatures.

Moreover, it should be said that an increase in the temperature in the furnace led to faster combustion, i.e. fuels burn in less time than burning at lower temperatures, and that higher temperatures result improved combustion efficiency and quality for all fuels.

References

1. Vairamuthu G., Sundarapandian S., Thangagiri B. Experimental investigations on the influence of properties of Calophyllum inophyllum biodiesel on performance, combustion, and emission characteristics of a DI diesel engine. [Http://DxDoiOrg/101080/0143075020151023838](http://DxDoiOrg/101080/0143075020151023838) 2015;37:616–24. <https://doi.org/10.1080/01430750.2015.1023838>.
2. Çelik M., Bayındırlı C., Mehregan M. Multi-objective optimization of a diesel engine fueled with different fuel types containing additives using grey-based Taguchi approach. *Environmental Science and Pollution Research* 2022;29:30277–84. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-18012-1>.
3. Renewable energy: Biofuel Production / P.D. Vikash Babu, P.D. Ashish Tapliyal, P.D. Girish Kumar Patel. – Publisher Scrivener Publishing LLC, 2014. – 250 c.
4. GOST 305-2013 "Diesel fuel. Technical conditions (in Russian). [Electronic resource] – URL: <http://vsegost.com/Catalog/56/56269.shtml> – (accessed: 27.03.2021).