

Школа: Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике
 Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
АСУ микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях

УДК 681.5:662.753:621.452.33

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Шахрай Михаил Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антонов Дмитрий Владимирович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

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

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

Школа: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Атрошенко Ю.К.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Шахрай Михаил Сергеевич

Тема работы:

АСУ микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях	
Утверждена приказом директора ИШЭ	10.02.2023, № 41–34/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом автоматизации является турбовинтовой двигатель
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы; 2. Описание объекта автоматизации; 2. Разработка структурной схемы; 3. Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации; 4. Разработка монтажной схемы внешних проводок; 5. Разработка схемы электрической соединений; 6. Разработка общего вида щита управления; 7. Расчет оптимальных параметров настройки регулятора и прямых оценок качества системы регулирования; 8. Разработка мнемосхемы АСУ;

	9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 10. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1. Схема структурная АСУ; 2. Схема функциональная АСУ; 3. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации; 4. Схема электрическая соединений; 5. Перечень элементов электрической схемы; 6. Схема монтажная внешних проводок; 7. Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Ст. преподаватель ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Шахрай Михаил Сергеевич		

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

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Уровень образования бакалавриат

НОЦ И.Н. Бутакова

Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Шахрай Михаил Сергеевич

Тема работы:

АСУ микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.06.23	Пояснительная записка	50
01.06.23	Чертежи	40
01.06.23	Презентационный материал	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	К.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Шахрай Михаил Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 86 страниц, 14 рисунков, 38 таблиц 32 литературных источников.

Ключевые слова: альтернативное топливо, микро-взрыв, суррогат, турбовинтовой двигатель, автоматизированная система управления, программируемый логический контроллер.

Объектом автоматизации является турбовинтовой двигатель.

Цель работы: разработка автоматизированной системы управления микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях.

В процессе выполнения работы разработаны структурная, функциональная и монтажная схемы системы автоматизированного управления микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях. Также были разработаны и оформлены электрическая принципиальная схема и чертеж общего вида щита управления, составлены заказная спецификация приборов и средств автоматизации. Произведен расчет ПИ-регулятора.

В результате выполнения текущей работы создан комплект конструкторской документации для микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях.

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ГТД – газотурбинный двигатель;

ТРД – турбореактивный двигатель;

ТВД – турбовинтовой двигатель;

ИМ – исполнительный механизм;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РО – регулирующий орган;

ТЗ – техническое задание;

КС – камера сгорания.

Содержание

Введение.....	12
1 Научно-исследовательская работа	14
1.1 Описание экспериментального стенда.....	14
1.2 Материалы	15
1.3 Методика экспериментальных исследований.....	15
1.4 Результаты проведенных исследований	17
2 Анализ объекта автоматизации	21
3 Разработка структурной схемы АСУ	24
4 Разработка функциональной схемы АСУ	25
5 Разработка заказной спецификации приборов и средств автоматизации	26
5.1 Выбор измерительных преобразователей температуры магистрали водо – топливной эмульсии.....	26
5.2 Выбор измерительных преобразователей температуры камеры сгорания.....	27
5.3 Выбор измерительных преобразователей давления магистрали водо – топливной эмульсии.....	28
5.4 Выбор измерительных преобразователей давления камеры сгорания	29
5.5 Выбор измерительного преобразователя расхода	29
5.6 Выбор задвижки с электроприводом	30
5.7 Выбор программируемого логического контроллера	31
5.8 Составление заказной спецификации	32
6 Разработка монтажной схемы АСУ	32
7 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления...	33

8	Разработка общего щита управления	35
9	Расчет параметров настройки регулятора	35
9.1	Идентификация объекта управления	36
9.2	Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСУ	37
9.3	Построение переходного процесса АСУ по каналу задания s-у	41
9.4	Определение вещественной частотной характеристики АСУ по каналу задания	42
9.5	Оценка качества переходного процесса	44
10	Разработка мнемосхемы	45
11	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
11.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	48
11.1.1	Анализ конкурентноспособности технических решений	48
11.2	Матрица SWOT	50
11.3	Планирование научно-исследовательских работ	51
11.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	51
11.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	52
11.4	Бюджет научно-технического исследования	57
11.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	57
11.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	57
11.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	59
11.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей	61

11.4.5 Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления)	61
11.4.6 Накладные расходы	62
11.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	62
10.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	63
11.6 Выводы по разделу	65
12 Социальная ответственность	68
12.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
12.2 Производственная безопасность	71
12.3 Экологическая безопасность	76
12.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	77
12.5 Вывод по разделу	79
Заключение	81
Графический материал.....На отдельных листах	
ФЮРА.421000.022 С1 Схема структурная АСУ микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях	
ФЮРА.421000.022 С2 Схема функциональная АСУ микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях	
ФЮРА.421000.022 СО Заказная спецификация приборов и средств автоматизации	
ФЮРА.421000.022 Э4 Схема принципиальная электрическая шкафа автоматизации	
ФЮРА.421000.022 ПЭ4 Перечень элементов	
ФЮРА.421000.022 Э5 Монтажная схема соединений внешних проводок	
ФЮРА.421000.022 ВО Общий вид щита автоматизации	

Введение

На протяжении всего своего развития человечество старалось улучшить свое существование, окружая себя различными благами. Последние два столетия повышение качества жизни человека стремительно растет, но вместе с этим увеличивается влияние общества на окружающую среду. Вмешательство человека в природу достигло глобальных масштабов, которое представляет реальную угрозу в первую очередь для самого человека [1].

Транспортная потребность человечества стремительно растет, тем самым основным фактором загрязнения являются продукты сгорания топлива. Перед научным сообществом возникла сложная и важная задача в снижении столь сильного влияния на экологию при одновременном поддержании производительности существующих мощностей. Возникает необходимость во внедрении новых технологий при использовании традиционных топлив с минимизацией антропогенных выбросов в атмосферу. Наука совершила большой шаг в развитии данного направления и одной из перспективных технологий является технология микро-взрывной фрагментации топлив. Данная метод вторичного измельчения не только положительно сказывается на экологической составляющей транспортной отрасли, но повышает ее эффективность. Применение микро-взрыва кратно повышает площадь сгорания топливной композиции в двигателях, тем самым снижая недожег и как следствие снижает количество вредных выбросов в виде оксидов углерода и серы. Стоит отметить, что несомненным достоинством внедрения этой технологии заключается в отсутствии кардинальных изменений конструкции силовых установок, в которых планируется применение микро-взрыва [2].

Керосин как основное топливо применяемое в авиации содержит в себе огромное количество компонентов, которые представляют сложность при моделировании процессов проходящих в камерах сгорания авиационных двигателей. Такой сложный компонентный состав может занимать большое количество времени при расчетах связанных с тепломассообменными процессами в двигателях. Ввиду трудоемкости выполнения задач по

моделированию, целесообразно стало применение суррогатов керосина с приближенными свойствами к исходному топливу.

Целью данной работы является создание комплекта конструкторской документации для автоматизированной системы управления микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях..

Для достижения поставленной цели был сформирован перечень задач, которые будут подлежать решению. В рамках ВКР необходимо:

- провести научное исследование по обобщению экспериментальных данных по микровзрывной фрагментации гетерогенных капель керосина;
- выполнить анализ объекта автоматизации;
- разработать комплект проектной документации;
- произвести расчет оптимальных параметров настройки ПИ - регулятора и прямых оценок качества системы;
- рассчитать затраты научно-технического исследования в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;
- рассмотреть вопросы безопасности в разделе «Социальная ответственность».

1 Научно-исследовательская работа

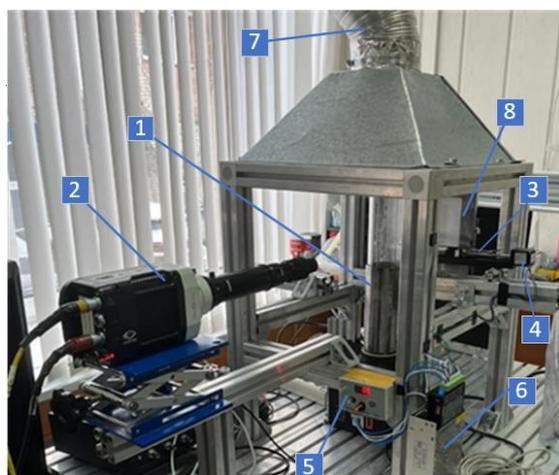
Водно-керосинные эмульсии представляют большой интерес в их применении за счет явных преимуществ относительно традиционных топлив. Экспериментальные данные неоднократно подтверждали снижение выбросов продуктов сгорания, а также повышение эффективности двигательных установок. Процесс вторичного измельчения капель топлив может происходить по двум механизмам: микро-взрыв и паффинг. В результате паффинга происходит частичный выброс частей капли за пределы начальной, при микро-взрывной фрагментации происходит полный разрыв капли на дочерие одновременно.

Цель настоящей работы – обобщение экспериментальных данных по микровзрывной фрагментации гетерогенных капель керосина по результатам опытов в потоке высокотемпературных газов с численными оценками времени задержки микро-взрывного распада.

1.1 Описание экспериментального стенда

При проведении опытов по испарению капель н-декан, додекан и гептан, использовался экспериментальный стенд, представленный на рисунке 1.

а)



б)

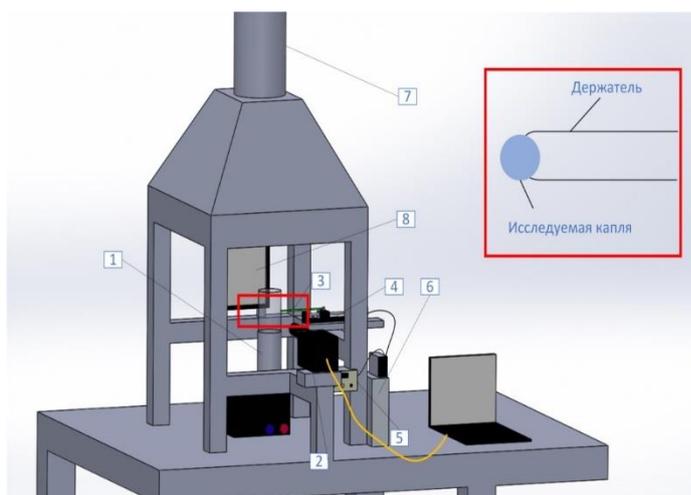


Рисунок 1 а - Изображение экспериментального стенда; б - схема

экспериментального стенда: 1 – нагреватель и нагнетатель высокотемпературного газового потока Leister, 2 – высокоскоростная камера Phantom Miro M310, 3 – спай хромель-алюмелевой термопары, 4 – шаговый

двигатель, 5 – микроконтроллер, 6 - блок питания, 7 – система вентиляции, 8 – прожектор.

Для генерации высокотемпературного газового потока использован тепловой вентилятор (1) с возможностью регулирования скорости и температуры с потенциометрами синего и красного цвета соответственно. Для регистрации процесса микро-взрыва капель суррогат керосина н-декан, додекан и гептан использовалась кросскорреляционная камера Phantom Miro M310 (2). На первом этапе проведения эксперимента топливные капли генерировались с помощью специального дозирующего устройства, THERMO SCIENTIFIC E1-CLIPTR, на спае хромель - алюмелевой термопары (3) и шагового двигателя (4). Управление шаговым двигателем осуществлялось с помощью микроконтроллера DC 7,5-24 (5) с возможностью регулирования скорости и направления перемещения и блока питания visum 24В. (6). С помощью системы вентиляции (7) осуществлялась очистка помещения от вредных паров топлива, образующихся в результате его испарения. Для настройки освещения использовался прожектор (8).

1.2 Материалы

В качестве объектов исследований использованы следующие виды топлив: додекан, н-декан, н-гептан. В таблице 1 приведены характеристики топлив.

Таблица 1- характеристики топлив

Топливо	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Температура кипения °С
Н-декан	0,73	-27,9	174,1
Н-гептан	0,679	-90,549	98,4
Додекан	0,75	-9,6	216,2

1.3 Методика экспериментальных исследований

Область исследования, в которую заводилась капля на держателе в виде термопары, заранее прогревалась до заданного значения температуры. Регистрация процессов нагрева и микро-взрыва капель топлива проводилась при

помощи высокоскоростной камеры Phantom Miro M310. Эксперименты обусловлены быстротой протекания процесса, поэтому частота съемки составляла 5400 кадров в секунду в разрешении 512×512 пикселей. Для упрощения процесса обработки видео с экспериментов область, в которую вводилась капля подсвечивалась светодиодным прожектором. В ходе проведения эксперимента отслеживалась динамика изменения размеров и температуры внутри (радиусов) капель при различных положениях потенциометров температуры и скорости, соответственно значений температуры и скорости газового потока. При идентичных условиях эксперимента (скорости и температуры газового потока) проводилось не менее 5 опытов. Обработка видеок кадров осуществлялась в программном комплексе PСС, в котором необходимо было настроить контрастность полученных кадров и измерить масштабный коэффициент. После вышесказанных действий, с помощью программы MATLAB проводилось продолжение анализа результатов, целью которого было выявить количество и размер вторичных капель до полного разрыва капли. Систематические погрешности определения размеров (радиусов) капель и их средней температуры не превышали 0,01 мм и 1,5 К, соответственно. Начальный размер капель измерялся до момента их непосредственного ввода в зону нагрева.

Для уточнения точности проведенных измерений необходимо найти случайные погрешности при проведении экспериментов. Данные погрешности оценивались как:

$$\Delta_r = \alpha_c \cdot s_x,$$

где α_c – коэффициент Стьюдента; s_x – среднеквадратичное отклонение среднего значения.

Коэффициент Стьюдента определяется количеством экспериментов и доверительным интервалом, равным 0,95. Каждый опыт проводился не менее 5 раз. Случайные погрешности при математической обработке получались не более 2%.

Статистическая погрешность измерений оценивалась частотой съемки при проведении экспериментов. При поведении опытов частота варьировалась от 4900 до 5400 кадров в секунду, при таких высоких скоростях съемки погрешность не превышала 0,0008%.

1.4 Результаты проведенных исследований

По данным, снятым с высокоскоростной камеры, были получены данные о времени задержки микро-взрыва и жизни от теплового потока капле додекана, гептана и н-декана. На рисунках 2-6 представлены зависимости времени жизни капле от теплового потока в виде t_h (с) и Q (кВт/м²) в диапазоне температур от 473 до 744 К, а диапазон скоростей от 0 до 5,31 м/с.

Тепловые потоки, подводимые к поверхности капле топлив, рассчитывались по выражению: $q=h \cdot (T_g - (\rho_l L (dR/dt))/h)$, где h – конвективный коэффициент теплоотдачи в Вт/(м²·К) ($h = \lambda Nu/2T_g$), ρ_l – плотность жидкости в кг/м³, L – теплота парообразования в Дж/кг, (dR/dt) – скорость испарения в м/с, и варьировались в диапазоне 10–100 кВт/м², что соответствовало диапазону температур газа 450–750 К и диапазону скоростей потока газа от 0 до 5,31 м/с.

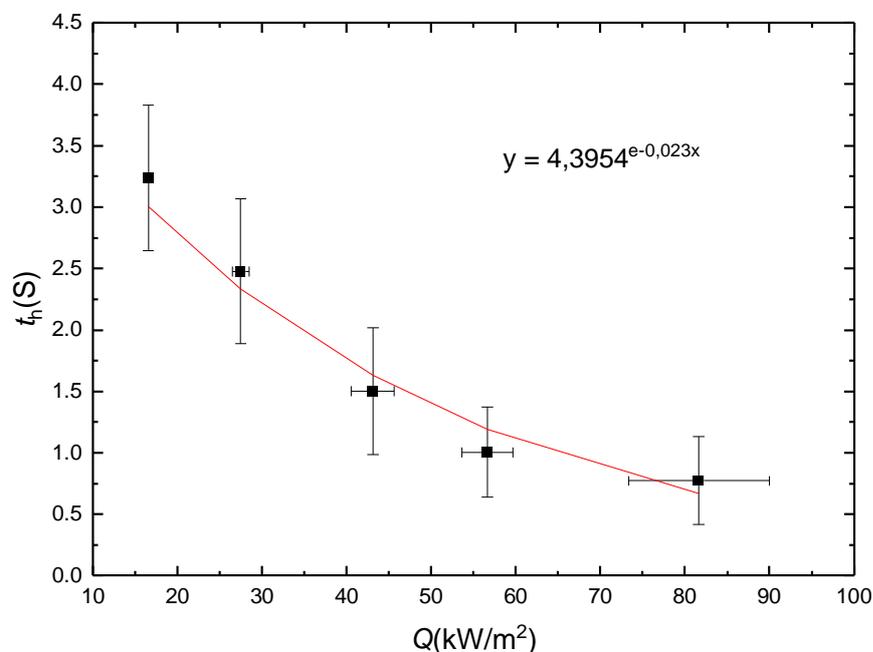


Рисунок 2 - Время жизни капле додекана с водой при $T_g = 473 \dots 698$ К,

$$U_g = 2,8 \dots 3,1 \text{ м/с}, R_{d0} \approx 1,00 \pm 0,038 \text{ мм}$$

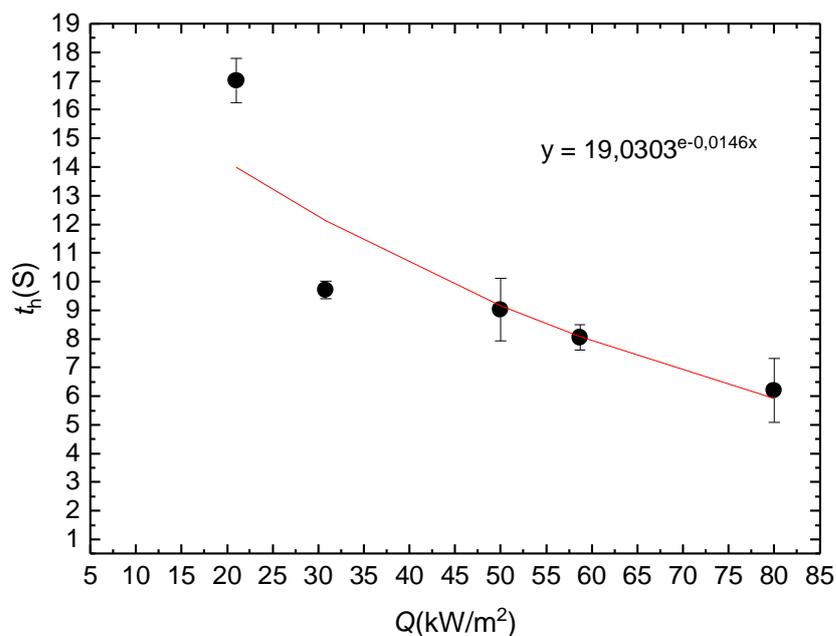


Рисунок 3 - Время жизни капле гептана с водой при $T_g = 473 \dots 698$ К,
 $U_g = 2,8 \dots 3,1$ м/с, $R_{d0} \approx 1,00 \pm 0,038$ мм

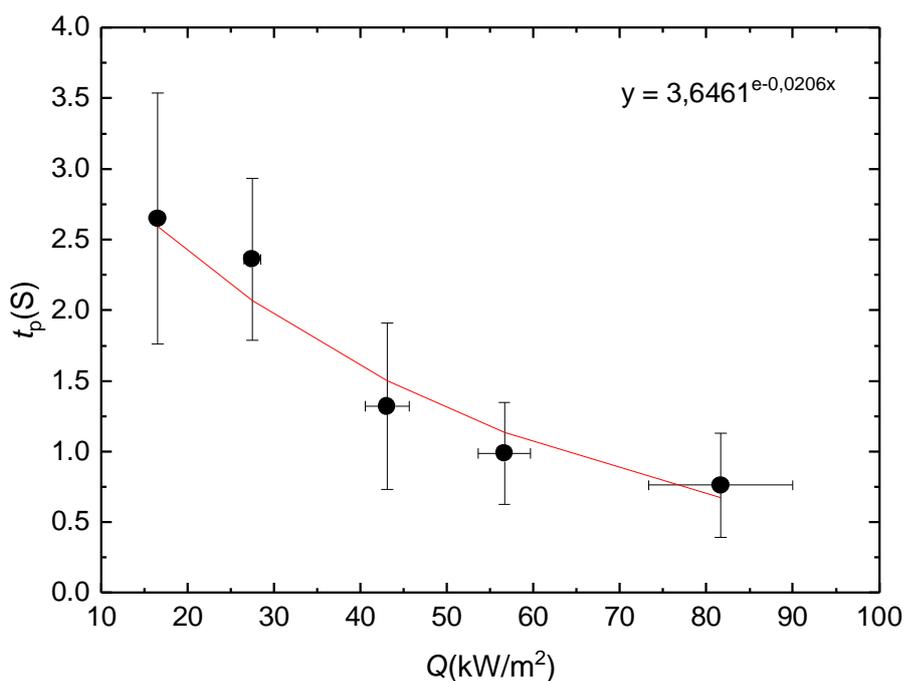


Рисунок 4 - Время задержки микро-взрыва капле додекана с водой $T_g =$
 $473 \dots 698$ К, $U_g = 2,8 \dots 3,1$ м/с, $R_{d0} \approx 1,00 \pm 0,038$ мм

Для построения обобщенного графика необходимо обезразмерить данные полученные в результате экспериментов. Для этого требуется определить коэффициент диффузии D монокомпонентных топлив, который определяется с помощью выражения:

$$D = A \cdot B \cdot T + C \cdot T^2$$

где, А, В и С коэффициенты диффузии по воздуху, а Т средняя начальная температура топлива. Коэффициенты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты формулы диффузии

	А	В	С
н-декан	-0,03116	$1,7075 \cdot 10^{-4}$	$3,7930 \cdot 10^{-7}$
н-додекан	-0,02765	$1,4951 \cdot 10^{-4}$	$3,4178 \cdot 10^{-7}$
н-гептна	-0,03888	$2,188 \cdot 10^{-4}$	$4,6201 \cdot 10^{-7}$

Для нахождения коэффициента необходима средняя начальная температура капли Т. Данные были сняты при помощи термопары платина-родий. В серии экспериментов средняя температура для всех типов топлива составила 32,122 °С. Погрешность измерений не превышала 3%.

Таблица 3 – Коэффициенты диффузии

	н-декан	н-додекан	н-гептна
D	$3,36616 \cdot 10^{-6}$	$3,0533 \cdot 10^{-6}$	$4,03839 \cdot 10^{-6}$

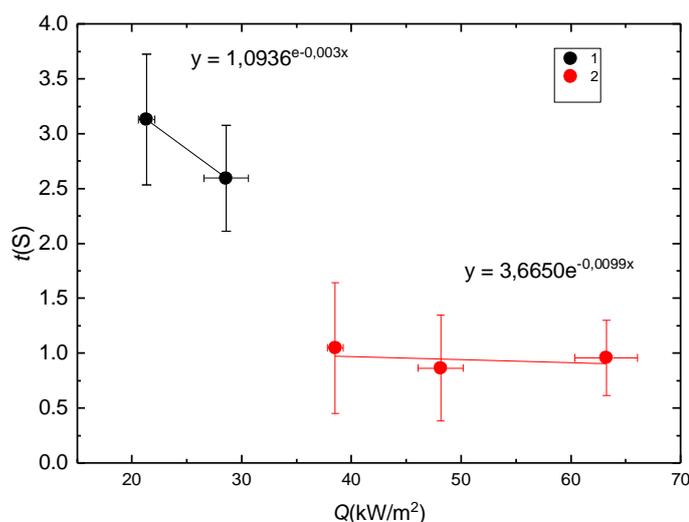


Рисунок 5 - Время жизни и задержки микро-взрыва капле н-декана с водой; 1-время жизни, 2- время задержки.

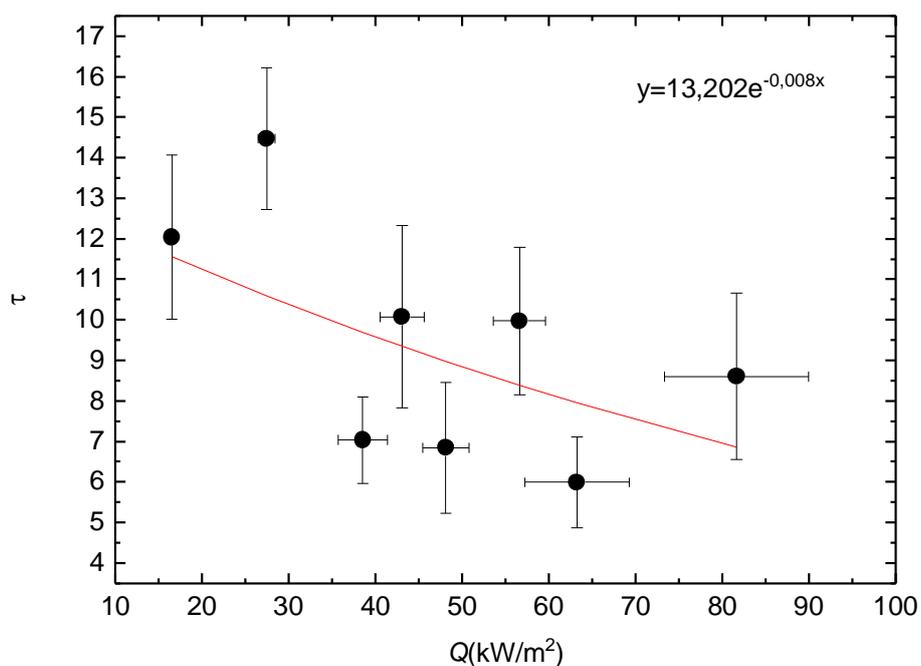


Рисунок 6 – Обобщенный график задержки микро-взрыва н-додекан и н-декан

На основе полученных экспериментальных данных можно установить обобщенную зависимость (рис. 6) времени задержки микро-взрывной фрагментации при сгорании суррогатов керосина (н-додекан и н-декан) от количества теплоты в диапазоне температур 450–750 К и скорости потока газов 0–5,31 м/с.

2 Анализ объекта автоматизации

На данный момент основным показателем прогресса авиации является уровень развития двигательных установок, которыми оснащены современные воздушные суда. В свою очередь выбор двигателей для самолетов и вертолетов весьма разнообразен [3]. Все силовые установки можно классифицировать по способу создания основной движущей тяги. К первой категории газотурбинных двигателей (ГТД) относят установки прямой реакции. Принцип действия таких двигателей основан на повышении давления воздуха, подаваемого в камеру сгорания компрессором. Последний приводится во вращение с помощью газовой турбины. В эту категорию относятся все типы турбореактивных двигателей. Данная категория создает движущую силу тяги за счет отдачи выбрасываемых газов из сопла двигателей. Принципиальная схема такого типа двигателей приведена на рисунке 7 [3].

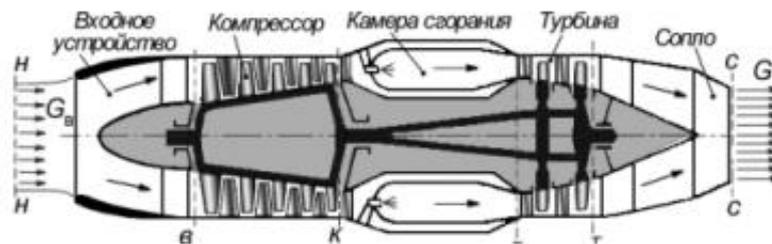


Рисунок 7 - Схема одноконтурного турбореактивного двигателя (ТРД) [3]

Ко второй категории относят двигатели непрямой реакции. В данном типе двигателей основную тягу генерирует уже не поток выходящих газов, а работа воздушного винта. В данную категорию входят два схожих друг на друга типа двигателей: турбовинтовой двигатель (ТВД) и турбовальный (ТВад).

В рамках данной работы объектом автоматизации является турбовинтовой двигатель. В отличие от турбовальных, при полете в основном диапазоне скоростей, присущих этим двигателям 600-900 км/ч, газовый поток, выходящий из сопла, приобретает скорость немного выше скорости движения самолета, что придает дополнительную реактивную тягу к основной тяге винта. Принципиальная схема турбовинтового двигателя представлена на рисунке 8 [3].

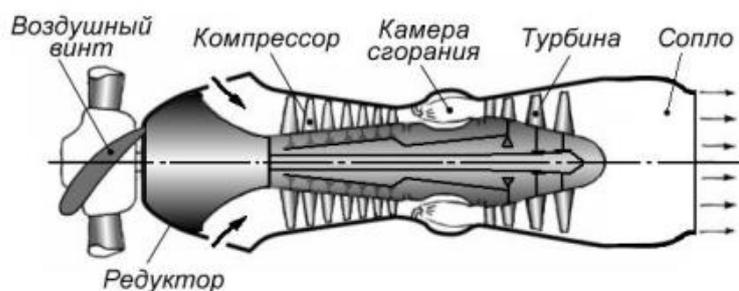


Рисунок 8 - Схема турбовинтового двигателя (ТВД) [3]

Основное отличие турбореактивного и турбовинтового двигателей заключается в том, что в последнем турбина приводит в движение не только компрессор, но и винт, который в свою очередь создает основную движущую силу. Данный тип двигателя является смешанным, ведь тяга суммарно состоит из той, что создает винт и поток газов из сопла. Турбовинтовые двигатели показали лучшие показатели экономичности при крейсерской скорости полета гораздо ниже скорости звука 600...700 км/ч по сравнению с турбореактивными. ТВД обеспечили оптимальную тягу воздушным винтом при взлете и на малых скоростях полета.

По конструктивному исполнению турбовинтовые двигатели подразделяются на одновальные и двухвальные. В первом газовая турбина, компрессор и воздушный винт установлены на одном валу. Второй выполнен несколько иначе, механической связи между турбиной и компрессором уже не существует, а существует лишь газодинамическая. Такая конструкция имеет существенные преимущества перед одновальной, к одному из таких можно отнести режим работы двигателя, в котором силовой агрегат на земле можно использовать в качестве вспомогательной, без необходимости вращения винта, а работа газогенератора снабжает самолет электроэнергией. Основываясь на преимущества двухвальных ТВД, выбор делаем в пользу данного двигателя. В российской авиации одним из ярких представителей данного типа является ТВ7-117-СТ. Двигатели данной серии являются одними из лучших среди аналогов как зарубежных так и отечественных производителей [4]. В таблице 4 приведены основные показатели данного двигателя.

Таблица 4 – Основные данные ТВ7-117СТ [4]

Основные данные	Производитель	Мощность на взлетном режиме, л.с.	Удельный расход топлива на взлетном режиме, кг/л.с.ч	Удельная масса, М/Нвзл. Кг/л.с.
ТВ7-117СТ	АО «ОДК-Климов»	2900	0,2	0,16

Стоит отметить, также важнейшие преимущества данного двигателя, данный ТВД отвечает всем требованиям безопасности и экологии и возможна эксплуатация в любой климате в диапазоне температуры окружающего воздуха $-60^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$. Кроме того, двигатель построен исключительно из узлов и агрегатов российского производства, что является весьма актуальным на сегодняшний день [4].

Целью проекта является регулирование параметров вторичного измельчения топлива в камере сгорания. Для определения регулируемых и контролируемых параметров необходимо понять процесс горения топлива в камере сгорания. Компрессор нагнетает большое давление, под которым воздух поступает в камеру. Помимо большого давления воздух поступает с высокой скоростью, что препятствует процессу горения, для чего предусмотрены диффузоры на входе в камеру сгорания, за счет этого скорость снижается до оптимальных значений. Качество сгорания топлива напрямую зависит от объема поступающего в камеру топлива. Таким образом регулирующее воздействие происходит за счет расхода топлива.

В таблице 5 приведены регулируемые и контролируемые параметры.

Таблица – 5 Регулируемые и контролируемые параметры

Регулируемые параметры	Контролируемые параметры
Расход топлива (0,05-0,09 м ³ /ч)	Температура в камере сгорания (700-1100 °С)
	Давление в камере сгорания (12-15 МПа)
	Давление топлива на подаче в камеру сгорания (8-10 МПа)

На основе вышеизложенной информации переходим к разработке структурной схемы АСУ.

3 Разработка структурной схемы АСУ

При проектировании АСУ одним из важнейших этапов является разработка структурной схемы, представляющую собой схему, включающую элементы АСУ и их связи. Выбор структуры является ключевым фактором определяющим надежность и эффективность всей системы. На рисунке 9 приведена структурная схема АСУ.

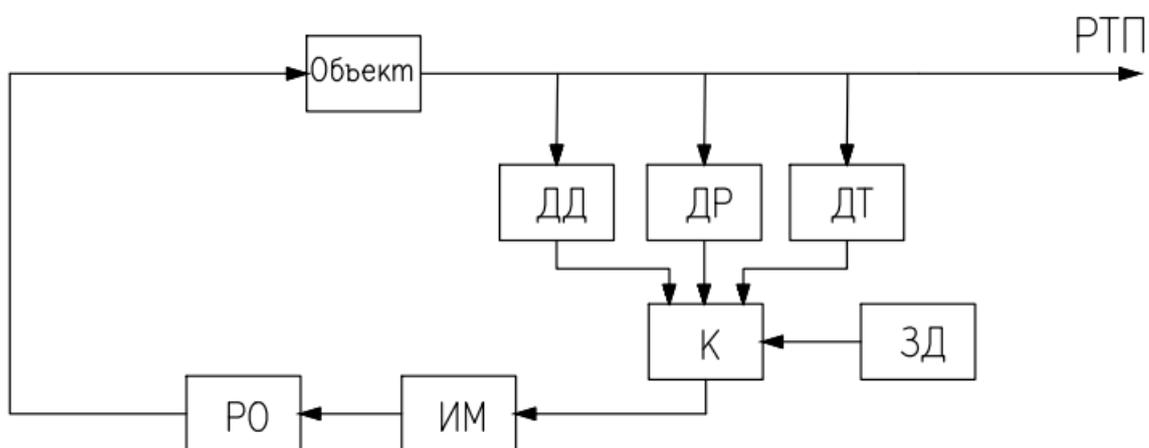


Рисунок 9 – Структурная схема автоматизации

В данной структурной схеме используются следующие обозначения:

- РТП – регулируемый технологический параметр;
- ДД – датчик давления в камере сгорания;
- ДР – датчик расхода топлива;
- ДТ – датчик температуры в камере сгорания;
- К – контроллер;
- ЗД – задатчик;
- ИМ – исполнительный механизм;
- РО – регулируемый орган (насос для топлива и воды, заслонка для воздуха)

Регулирование температуры и давления в камере сгорания авиационного двигателя можно осуществить за счет изменения расхода топлива, поэтому в структурной схеме автоматизации регулируется расход топлива. Расход

измеряется расходомером, включающий в себя первичный и нормирующий преобразователи, которые преобразуют сигнал в унифицированный сигнал тока и подают его в контроллер. Затем задатчик задает требуемое значение регулируемой величины и передает сигнал в контроллер, который воздействует на исполнительный механизм, который в свою очередь регулирует открытие задвижки, и соответственно, тем самым регулируя расход топлива.

Разработанная структурная схема автоматизированной системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.022 С1.

4 Разработка функциональной схемы АСУ

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

Показание температуры водо-топливной эмульсии приходит на ПЛК от преобразователя температуры 1а. Также на топливной магистрали установлены датчики давления 4а и расхода 7а. Регистрация данных о значениях давления и температуры в камере сгорания осуществляется за счет измерительных преобразователей температуры (2а, 3а) и давления (5а, 6а). Сигнал, возникающий на выходе преобразователей, поступает на контроллер с помощью преобразователя. ПЛК вырабатывает управляющее воздействие, поступающее на исполнительный механизм 8а. Измерительные каналы 2 и 3 служат для передачи сигнала о значении температуры в камере сгорания от преобразователя температуры с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на контроллер. Измерительный канал 4 служит для передачи сигнала о величине давления в магистрали подачи водо-топливной эмульсии от преобразователя давления с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на контроллер и сигнализации. Каналы 5 и 6 служат для передачи сигнала о величине давления в камере сгорания от преобразователя давления с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на контроллер. Канал 9 используется для определения

положения задвижки. По каналу 8 передается управляющий сигнал на исполнительный механизм.

На чертеже разработанной функциональной схемы АСУ изображено:

- в верхней части - технологическая схема объекта автоматизации;
- снизу - таблица с местом установки технических средств.

Разработанная функциональная схема автоматизированной системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.022 С2.

5 Разработка заказной спецификации приборов и средств автоматизации

5.1 Выбор измерительных преобразователей температуры

магистрالی водо – топливной эмульсии

На магистрали с эмульсией температура измеряемой среды находится в диапазоне от +50 до +100 °С. Данный интервал будет определяющим критерием при выборе преобразователя температуры, также нужно учесть климатическое исполнение (температуру окружающей среды). При выборе преобразователя следует обратить на выходной сигнал. При рассмотрении преобразователя рассматривались следующие датчики: ТПУ-205 (производитель «Элемер»), ТПУ 0304/М1-СВ (производитель «ГК Теплоприбор») и ДТС045М-100М.0,5.120.МГ.И (производитель «ОВЕН»). В таблице 6 приведены основные технические характеристики преобразователей.

Таблица 6 – Сравнение датчиков температуры [5]

Характеристики для сравнения	Преобразователи температуры		
	ТПУ-205	ТПУ 0304/М1-СВ	ДТС045М-100М.0,5.120.МГ.
Потребляемая мощность	не более 0,8 Вт	не более 0,8 Вт	0,8 Вт
Тип выходного сигнала	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Диапазон измеряемой температуры	-50...+200°С	-40...+85°С	-30...+70°С
Длина монтажной части	10...6500 мм	60...2000 мм	120 мм

Среди представленных датчиков наиболее подходящим является преобразователь ТПУ-205, так как именно его диапазон измерений подходит для магистрали с водо-топливной эмульсией.

5.2 Выбор измерительных преобразователей температуры камеры сгорания

Температура в камере сгорания изменяется от 400 до 2000 °С, но в данной АСУ измерение проводится вблизи стенок камеры сгорания, где температуры варьируются от 300 до 700 °С. По этому диапазону и будет подбираться преобразователь температуры. При рассмотрении преобразователя рассматривались следующие датчики: ТПУ – 0304 (производитель «Элемер»), ТСМУ-16-S (производитель «ГК Теплоприбор») и Метран-2700 (производитель «Метран»). В таблице 7 приведены основные технические характеристики преобразователей.

Таблица 7 – Сравнение датчиков температуры [5]

Характеристики для сравнения	Преобразователи температуры		
	ТПУ-0304	ТСМУ-16-S	Метран-2700
Потребляемая мощность	не более 0,8 Вт	не более 0,8 Вт	1 Вт
Тип выходного сигнала	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Диапазон измеряемой температуры	-50...+1200°С	-200...+600°С	-50...+600°С
Длина монтажной части	10...4200 мм	60...2000 мм	10-1000 мм

Среди представленных датчиков наиболее подходящим является преобразователь ТПУ – 0304, так как именно его диапазон измерений подходит для камеры сгорания, а также учитываем, что в системе уже выбраны датчики компании «Элемер».

5.3 Выбор измерительных преобразователей давления магистрали водо – топливной эмульсии

На магистралях с эмульсией давление измеряемой среды находится в диапазоне от 7 до 9 МПа. Данный интервал будет определяющим критерием при выборе преобразователя давления, также нужно учесть климатическое исполнение (температуру окружающей среды). При выборе преобразователя следует обратить на выходной сигнал и наличие сигнализации. При рассмотрении преобразователя рассматривались следующие датчики: Элемер АИР 30М (производитель «Элемер»), ПД100 (производитель «ОВЕН») и Метран-150ТГ (производитель «Метран»). В таблице 8 приведены основные технические характеристики преобразователей.

Таблица 8 - Сравнение датчиков давления [5]

Характеристики для сравнения	Датчики		
	Элемер АИР 30М	ПД100	Метран-150ТГ
Класс защиты	IP67	IP65	IP66
Диапазон измерений	0,025 кПа...60 МПа	0,1 кПа...100 МПа	500 кПа...25 МПа
Диапазон унифицированного выходного сигнала	4...20 мА.	4...20 мА	4...20 мА
Сигнализация	есть	нет	есть

В результате сравнения датчиков приходим к выводу, что к данной АСУ подходит два датчика с весьма схожими характеристиками. Оба датчика от производителей «Элемер» и «Метран» имеют сигнализацию, но так как в системе уже образовалась экосистема из датчиков производителя «Элемер» остановим выбор на датчике Элемер АИР 30М.

5.4 Выбор измерительных преобразователей давления камеры сгорания

Для измерения давления в камере сгорания необходимо найти такой датчик, который удовлетворяет условию: $P=20$ МПа, $T=1150$ °С. Анализируя рынок, произведем выбор Ultra PT 750, поскольку за счет критических температур аналогов у отечественных производителей не существует. В таблице 9 приведены основные технические характеристики преобразователя.

Таблица 9 - Технические характеристики Ultra PT 750 [6]

Характеристики	Ultra PT 750
Класс защиты	IP68
Диапазон измерений	0,2 – 200 МПа
Диапазон унифицированного выходного сигнала	4...20 мА
Диапазон рабочей температуры	0...+1200 °С
Температура окружающей среды	-50...+70 °С

5.5 Выбор измерительного преобразователя расхода

При измерении расхода топлива нужно учитывать давление измеряемой среды, а также температуру. При рассмотрении преобразователя рассматривались следующие расходомеры: ЭМИС–МАГ 270, ЭЛЕМЕР-РВ и KFL-DC MAG 1000. В таблице 10 приведены основные технические характеристики преобразователей.

Таблица 10 - Сравнение преобразователей расхода [7]

Характеристики для сравнения	Преобразователь расхода		
	ЭМИС–МАГ 270	ЭЛЕМЕР-РВ	KFL-DC MAG 1000
Максимальное избыточное давление	16 МПа	20 МПа	4 МПа

Продолжение таблицы 10

Диапазон унифицированного выходного сигнала	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
температура измеряемой среды	-40...+130 °С	-50...+350 °С	-25...+180 °С
Диапазон расхода	0,71...71 м ³ /ч	4,5...847800 м ³ /ч	0,06...61000 м ³ /ч
Относительная погрешность	±0,5	±1	±0,5

В результате выбираем расходомер ЭМИС–МАГ 270, из рассмотренных аналогов только этот преобразователь отвечает всем требованиям технологического процесса. Давление в топливной магистрали изменятся в диапазоне 7...9 МПа с расходом в рабочем режиме 0,075 м³/ч.

5.6 Выбор задвижки с электроприводом

Для регулирования расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания используется задвижка, которая приводится в действие электроприводом. В данной работе выбрана клиновидная задвижка, в таблице 11 приведены ее основные характеристики.

Таблица 11 – Технические характеристики клиновидной задвижки 1511-50-ЭМ с электроприводом [8]

Характеристика	Величина
Условный диаметр	50 мм
Тип управления	электропривод
Крутящий момент	70 Нм
Рабочая температура	до 400 °С

Данная задвижка позволяет производить управление с помощью электропривода. Для этих целей был выбран электропривод ГЗ-А.70

Таблица 12 – Технические характеристики электропривода ГЗ-А.70 [8]

Характеристика	Величина
Выходной сигнал	4...20 мА
Питание	380 В 50 Гц
Крутящий момент	70 Нм

5.7 Выбор программируемого логического контроллера

При выборе контроллера для систем управления основной задачей является наиболее полное удовлетворение технических требований на разработку автоматической системы (требования к информационным, управляющим и вспомогательным функциям, а также к техническому, программному, метрологическому и организационному обеспечению).

Поскольку система является весьма несложной с технической точки зрения и включает в себя небольшое количество элементов, то для таких масштабов можно рассматривать контроллеры малого и среднего масштаба. Одним из таких является контроллер ЭЛСИ-ТМК. Его функционал и эффективность работы полностью покрывает нужды системы и даст возможность дальнейшего расширения системы без замены контроллера на более мощный. Кроме того, стоит отметить коммуникационные возможности данного контроллера, способность поддержки сигналов плохого качества делает его одним из приоритетных. В таблице 13 приведены основные технические характеристики контроллера.

Таблица 13 – Технические характеристики контроллера ЭЛСИ-ТМК [9]

Напряжение питания	24 ± 4 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	40 В А
Диапазон контроля температур	-25...+60 °С
Аналоговых входов	10 шт.
Цифровых входов	5 шт.
Аналоговых выходов	10 шт.
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Средний срок службы	15 лет

5.8 Составление заказной спецификации

Следуя пункту по выбору оборудования данной АСУ, в котором представлен подробный выбор технических средств измерения и остального необходимого оборудования, осуществляем составление заказной спецификации.

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.022. СО1.

Следующий этап заключается в разработке монтажной схемы.

6 Разработка монтажной схемы АСУ

Монтажная схема – это схема соединений внешних проводок, схема показывает связь приборов и средств автоматизации, подключение проводок к оборудованию и щитам.

В верхней части чертежа приведена таблица с наименованием параметров, местами отбора импульсов и позициями датчиков. Под каждой позицией датчиков располагаются датчики температуры, давления и расхода. Исходя из руководства по эксплуатации, датчики температуры двухпроводные, датчик давления 4а шестипроводный, датчики давления 5а-6а четырехпроводные, датчик расхода – четырехпроводный. Провода обозначаются, начиная со 101, и соединяются в кабели. В окружности на кабеле приводится маркировка измерительного канала. Кабели № 1-2 и 3-4 сводятся в клеммные коробки через 2 сальника М25, из коробок выходят кабели № 7 и №8 через сальник М32 на щит автоматизации.

Внизу чертежа изображен шкаф автоматизации. Он соединяется кабелем № 9 с щитом силового управления, который расположен справа в верхней части чертежа. Питание электропривода задвижки осуществляется при помощи кабеля № 10 от щита силового управления. Кабель № 5 с дискретными и кабель № 6 с аналоговыми сигналами от электропривода приходит в щит автоматизации.

В таблице 14 приведены кабели, которые используются на монтажной схеме.

Таблица 14 – Кабели, использованные в схеме

Номер измерительного канала	Наименование кабеля
1-4, 7-8	КВВГ
5-6	КВВГЭ
9-10	ВВГнг

Кабель КВВГ – контрольный кабель, с медной жилой, с изоляцией и оболочкой из ПВХ. Кабель КВВГЭ – контрольный экранированный кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ. Для щита силового управления выберем кабели ВВГнг – силовой кабель, с медной жилой, изоляцией из ПВХ, оболочкой из ПВХ пониженной горючести.

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительные коробки КС-16 У2.

Монтажная схема внешних проводок автоматической системы управления температуры и давления в камере сгорания представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.022 Э5.

7 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления

В данном разделе была разработана электрическая схема соединений щита, представляющая собой АСУ температуры и давления в камере сгорания, которая приведена в документе с шифром ФЮРА.421000.022 Э4. Перечень элементов электрической схемы представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.022 ПЭ4.

На листе 1 с шифром ФЮРА.421000.022 Э4. Представлена электрическая схема подсистемы электропитания и микроклимата щита управления.

Подсистема электропитания включает в себя:

- автоматический выключатель (QF1), предназначенный для защиты цепи питания;
- щитовая розетка (XS0) для удобства обслуживания оборудования и ремонта в шкафу управления;
- устройство защиты от перенапряжений (Z01), предназначенное для защиты устройств от перенапряжений при протекании через сеть

- импульсов тока;
- концевой выключатель (SQ1), предназначен для автоматического включения лампы при открытии и выключения при закрытии дверцы ЩУ;
 - импульсный источник питания (G1) Для резервирования питания и преобразования напряжения сети переменного тока 220 В в постоянное напряжение 24 В;
 - лампа (EL1) для удобства обслуживания и ремонта;
 - фильтрующий вентилятор (M1) для поддержания микроклимата внутри щита управления.

На втором листе электрической схемы подключения изображено 3 модуля контроллера А1, А2, А3. Модуль питания (А1) питается с помощью блока зажимов ХТ01. В нижнем левом углу схемы изображен модуль аналоговых вводов (А3). Для ввода аналоговых сигналов в щите предусмотрены разделительные преобразователи ЕТ-422, которые обеспечивают гальваническую развязку цепей контроллера и полевых цепей, сигнал с которых поступает на соответствующие блоки контроллера. Аналоговые сигналы от датчиков и ИМ приходит с блоков зажимов ХТ1, ХТ2, ХТ5.3, расположенных в правой части листа 2.

На третьем листе электрической схемы соединений изображен модуль ввода и модуль вывода дискретных сигналов. В левом верхнем углу схемы расположен модуль ввода дискретных сигналов (А4), сигналы к которому подходят сигналы через ключи К1.1. - К4.1. В левом нижнем углу изображен модуль вывода дискретных сигналов (А5), сигналы от которого поступают на сигнальную лампу и ИМ, через катушки реле К5-К8. Так же на схеме изображена сигнальная лампа (НЛ1) и блок зажимов сигнализации давления топлива в магистрали ХТ1.1.

На четвертом листе электрической схемы соединений изображена схема управления исполнительным механизмом.

8 Разработка общего щита управления

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

В данной работе для размещения средств автоматизации используем щит с задней дверью одиночный, высотой 1200 мм, шириной 800 мм и глубиной 300 мм – ЩШМ 1200x800x300.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей.

Верхней части чертежа располагаются коммутационная на которой закреплены модули контроллера А1-А5 на горизонтальной панели щита управления. Левее панели находится блок питания, диодный модуль, а также бесперебойный источник питания.

В середине расположены розетка XS0, автоматический выключатель, защита от перенапряжений, термореле, а также блоки зажимов. Правее расположен аккумулятор, который соединяется с ИБП. Ниже расположены три преобразователя аналоговых сигналов, а также релейный модули на 24 и 220В.

В нижней части шкафа расположены блоки зажимов разделенные по величине напряжение по 24 и 220 В.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.022 ВО.

9 Расчет параметров настройки регулятора

За последние пол века промышленность стремительно шагнула вперед, все благодаря замене человека системами автоматического регулирования и управления. Такая тенденция способствует благоприятному развитию. С помощью таких систем повышается не только безопасность труда, но и его экономичность. [10].

Любая современная АСУ включает в себя ключевой элемент – регулятор.

Работа регулятора основана на конкретном законе регулирования, которых существует на сегодняшний день 6. В данной работе был выбран ПИ-регулятор, который сможет обеспечить требуемые параметры процесса, исключая статическую ошибку [11].

Основной задачей при разработке каждой системы автоматического управления является поиск оптимальных настроек регулятора. Нахождение верных значений способствует получению качественного переходного процесса. В рамках выполнения данной работы была снята кривая разгона с объекта управления для определения передаточной функции, далее по методу РАФЧХ производился поиск оптимальных настроек регулятора.

Для оценки качества переходного процесса наиболее часто используют основные показатели: время регулирования, степень затухания, динамическая ошибка.

9.1 Идентификация объекта управления

На данный момент существует два метода идентификации объекта: экспериментальный и аналитический. Идентификация – это один из методов построения математической модели динамического объекта. В нашем случае произведена экспериментальная методика, так как у нас есть объект управления с которого была снята кривая разгона, для определения передаточной функции.

В данной работе для идентификации объекта управления был использован тренд температуры в камере сгорания газотурбинного двигателя. На рисунке 10 представлена кривая разгона.

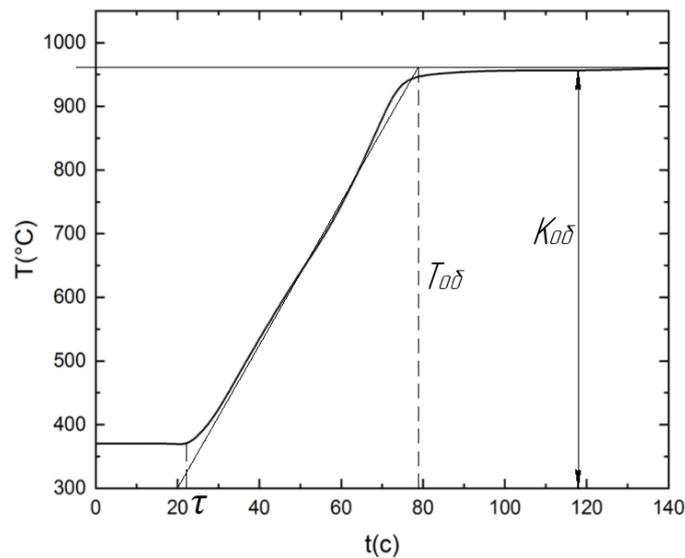


Рисунок 10 – Кривая разгона температуры в камере сгорания

По рисунку 10 определяем параметры объекта: коэффициент усиления, $K = 957$, постоянная времени, $T = 79$ с., время запаздывания, $\tau = 23$ с.

Передаточной функцией объекта является апериодическое звено первого порядка с запаздыванием:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{T_{об}P + 1} e^{-P\tau} = \frac{957}{79P + 1} e^{-22P},$$

где K – коэффициент передачи, P – оператор Лапласа, T_1 – постоянная времени, τ – время запаздывания.

9.2 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСУ

Структурная схема регулирования представлена на рисунке 11:

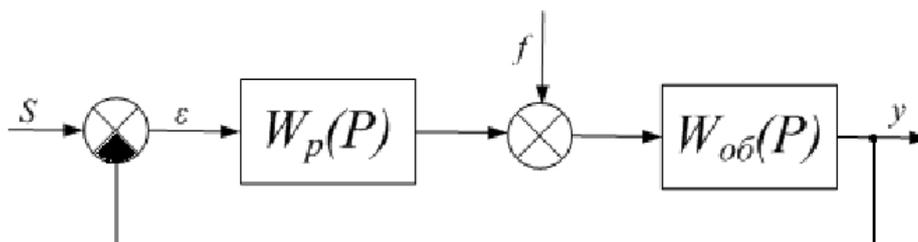


Рисунок 11 – Структурная схема регулирования

Для расчета оптимальных настроек регулятора зададим степень затухания $\psi = 0,998$. Т.к. процесс является монотонным, то в качестве интегральной оценки примем первую интегральную оценку $I_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon(t)dt$.

Зная степень затухания, можно определить зависимость между данным параметром и степенью колебательности переходного процесса m по таблице 15.

Таблица 15 – Таблица соответствия оценок запаса устойчивости [12]

ψ	0	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,998	1
m	0	0,221	0,256	0,302	0,366	0,477	0,989	∞

Для заданной степени затухания $m = 0,989$.

В данной работе для расчета параметров настройки регулятора использован метод РАФЧХ.

Для определения расширенных частотных характеристик звена необходимо провести замену оператора Лапласа в передаточной функции звена. Существует два вида замены $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ или $p = -\eta + i \cdot \omega$, где ω – частота, c^{-1} , m – степень колебательности системы, η – степень устойчивости системы. Первый вид замены используется для построения границы заданной степени колебательности системы, второй – для построения границы степени устойчивости системы в плоскости параметров настройки регулятора. В работе воспользуемся первым видом замены.

Передаточная функция объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = 957e^{-23P}.$$

Производим замену $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$:

$$W_{об}(m, i\omega) = \frac{957}{79(-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1} e^{-23(-0,989 \cdot \omega + i \cdot \omega)}.$$

Для построения РАФЧХ объекта регулирования необходимо определить расширенную вещественную частотную характеристику (РВЧХ) и расширенную мнимую частотную характеристику (РМЧХ). Для этого воспользуемся программой Mathcad задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ c}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,001 \text{ c}^{-1}$ и конечное значение частоты $\omega = 0,2 \text{ c}^{-1}$. Также с помощью программы Mathcad необходимо рассчитать настройки регулятора K_p и $\frac{K_p}{T_i}$ по расчетным формулам для ПИ-регулятора:

$$\frac{K_p}{T_i} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)};$$

$$K_p = -\frac{m \cdot Im_{об}(m, \omega) + Re_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)},$$

где K_p – коэффициент передачи ПИ-регулятора, T_i – постоянная интегрирования ПИ-регулятора, $Im_{об}(m, \omega)$ – расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ), $Re_{об}(m, \omega)$ – расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ), $A_{об}(m, \omega) = \sqrt{Re_{об}^2(m, \omega) + Im_{об}^2(m, \omega)}$ – расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ). Результаты расчетов приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расширенные частотные характеристики и параметры настройки регулятора

ω, c^{-1}	$Re(m, \omega)$	$Im(m, \omega)$	$A(m, \omega)$	$\frac{K_p}{T_i}$	K_p
0	957	0	957	0	-0,00104
0,001	1051,89	-114,56	1058,11	$2,024 \cdot 10^{-7}$	-0,00084
0,002	1135,73	-267,26	1166,75	$7,767 \cdot 10^{-7}$	-0,00064
0,003	1192,27	-461,34	1278,41	$1,675 \cdot 10^{-6}$	-0,00045
0,004	1200,23	-691,75	1385,31	$2,852 \cdot 10^{-6}$	-0,00026
0,005	1138,71	-940,07	1476,61	$4,264 \cdot 10^{-6}$	-0,000096
0,006	668,9192	-777,84	1025,908	$5,871 \cdot 10^{-6}$	0,000069
0,007	530,0109	-899,606	1044,128	$7,632 \cdot 10^{-6}$	0,000225544
0,008	365,1836	-971,777	1038,128	$9,511 \cdot 10^{-6}$	0,000374002
0,009	198,5332	-992,255	1011,922	$1,147 \cdot 10^{-5}$	0,000514421
0,01	48,64085	-970,838	972,0561	$1,348 \cdot 10^{-5}$	0,000646904
0,011	-75,4394	-921,986	925,0674	$1,552 \cdot 10^{-5}$	0,000771563

Продолжение таблицы 16

0,012	-172,525	-858,84	875,997	$1,754 \cdot 10^{-5}$	0,000888519
0,013	-245,738	-790,791	828,0923	$1,952 \cdot 10^{-5}$	0,000997902
0,014	-299,649	-723,541	783,1353	$2,145 \cdot 10^{-5}$	0,001099848
0,015	-338,721	-660,082	741,9163	$2,329 \cdot 10^{-5}$	0,001194501
0,016	-366,701	-601,694	704,6316	$2,504 \cdot 10^{-5}$	0,001282012
0,017	-386,516	-548,686	671,1564	$2,665 \cdot 10^{-5}$	0,001362536

На рисунке 12 приведен график границы запаса устойчивости, на котором подбираются оптимальные параметры настройки регулятора. Для проверки была взята первая интегральная оценка, то необходимо взять максимальное значение, изображенное на рисунке 12.

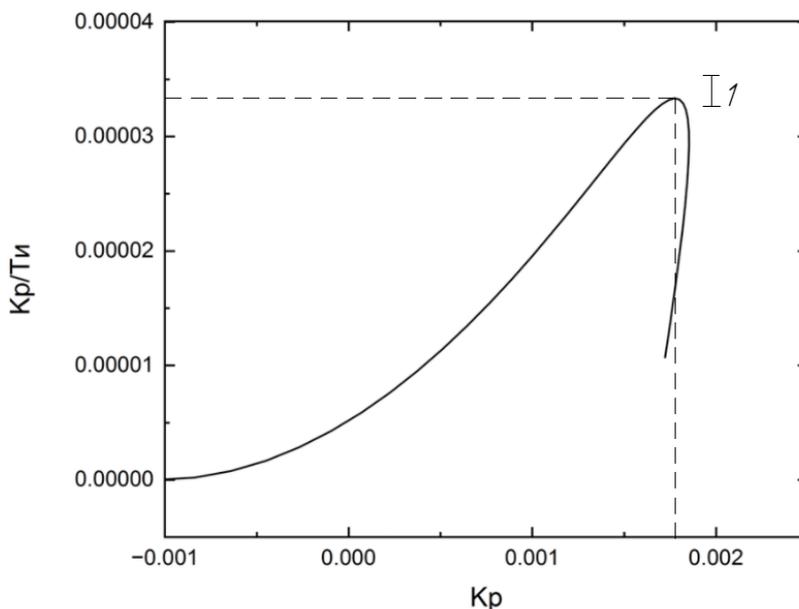


Рисунок 12 – График границы запаса устойчивости

Точка, отмеченная на рисунке 12, как I_1 соответствует параметрам настройки регулятора, удовлетворяющая первой интегральной оценке качества. Таким образом, оптимальные параметры настройки регулятора:

$$K_p = 0,00175; \frac{K_p}{T_i} = 3,32 \cdot 10^{-5}; T_i = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_i}} = \frac{0,00175}{3,32 \cdot 10^{-5}} = 52,71;$$

$$\omega_{рез} = 0,025.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i P}\right) = 0,00175 \cdot \left(1 + \frac{1}{52,71P}\right).$$

9.3 Построение переходного процесса АСУ по каналу задания s-y

Как правило при построении и расчете переходных процессов используют частотные методы. К двум основным относят метод трапеций и интегрального синуса [12]. Оба метода основаны на построении переходных процессов с помощью вещественной частотной характеристики (ВЧХ) системы. В данной работе был выбран метод интегрального синуса. Он основан на применении так называемой формулы интегрального синуса, устанавливающей связь между вещественной частотной характеристикой системы и её переходным процессом в виде интеграла, который определяется численными методами на компьютере с применением современных вычислительных пакетов типа MATCAD или MATLAB.

Для расчета переходного процесса берется интеграл, который содержит интегральный синус:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{рез}} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

Для получения вещественной частотной характеристики системы необходимо получить эквивалентную передаточную функцию системы по каналу задания (s-y). Для этого необходимо знать передаточные функции объекта и регулятора. Вывод эквивалентной передаточной функции по каналу задания:

$$W_{s-y} = \frac{Y(P)}{S(P)};$$

$$\varepsilon(P) = S(P) - Y(P);$$

$$\varepsilon(P) \cdot W_p \cdot W_{об} = Y(P);$$

$$(S(P) - Y(P)) \cdot W_p \cdot W_{об} = Y(P);$$

$$S(P) \cdot W_p \cdot W_{об} = Y(P) \cdot (1 + W_p \cdot W_{об});$$

$$\frac{Y(P)}{S(P)} = \frac{W_p \cdot W_{об}}{1 + W_p \cdot W_{об}};$$

$$W_{s-y} = \frac{W_p \cdot W_{об}}{1 + W_p \cdot W_{об}}.$$

9.4 Определение вещественной частотной характеристики АСУ по каналу задания

$$W_{сис}(P)_{s-y} = \frac{W_p(P) \cdot W_{об}(P)}{1 + W_p(P) \cdot W_{об}(P)} = \frac{0,00175 \cdot \left(1 + \frac{1}{52,71P}\right) \cdot \frac{957}{79P + 1} e^{-23P}}{1 + 0,00175 \cdot \left(1 + \frac{1}{52,71P}\right) \cdot \frac{957}{79P + 1} e^{-23P}},$$

где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора, $W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта регулирования.

Для расчета ВЧХ системы необходимо провести замену оператора Лапласа $p = i\omega$:

$$W_{сис}(i\omega)_{s-y} = \frac{0,00175 \cdot \left(1 + \frac{1}{52,71i\omega}\right) \cdot \frac{957}{79i\omega + 1} e^{-23i\omega}}{1 + 0,00175 \cdot \left(1 + \frac{1}{52,71i\omega}\right) \cdot \frac{957}{79i\omega + 1} e^{-23i\omega}}.$$

Для расчета воспользуемся программой Mathcad, задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,001 \text{ с}^{-1}$ и конечное значение частоты $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$. Значения $Re_{сис}(\omega)_{s-y}$ указаны в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет вещественной частотной характеристики (ВЧХ) системы по каналу задания

ω	$Re_{сис}(\omega)_{s-y}$
0	1
0,001	1,02
0,002	0,756
0,003	0,025
0,004	-0,515
0,005	-0,635

Продолжение таблицы 17

0,006	-0,559
0,007	-0,436
0,008	-0,318
0,009	-0,22
0,01	-0,14

Резонансная частота:

$$\omega_{\text{рез}} = 0,3 \text{ с}^{-1}.$$

По формуле интегрального синуса рассчитываем переходный процесс с помощью программы Mathcad при $s(t)=957 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{\text{рез}}} \frac{Re(\omega) \cdot s(t)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega$$

$$= \frac{2 \cdot 957}{\pi} \int_0^{0,3} \frac{Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

Задаём диапазон изменения времени $t = 0..2000 \text{ с}$. с шагом $\Delta t = 100 \text{ с}$ и получаем результат, указанный в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет переходного процесса

t, с	y(t)
0	0
100	1143
200	967,497
300	954,446
400	957,409
500	957,109
600	956,924
700	956,894
800	957,029
900	957,09
1000	957,001
1100	956,927
1200	956,979
1300	957,056
1400	957,034

Переходный процесс изображен на рисунке 13.

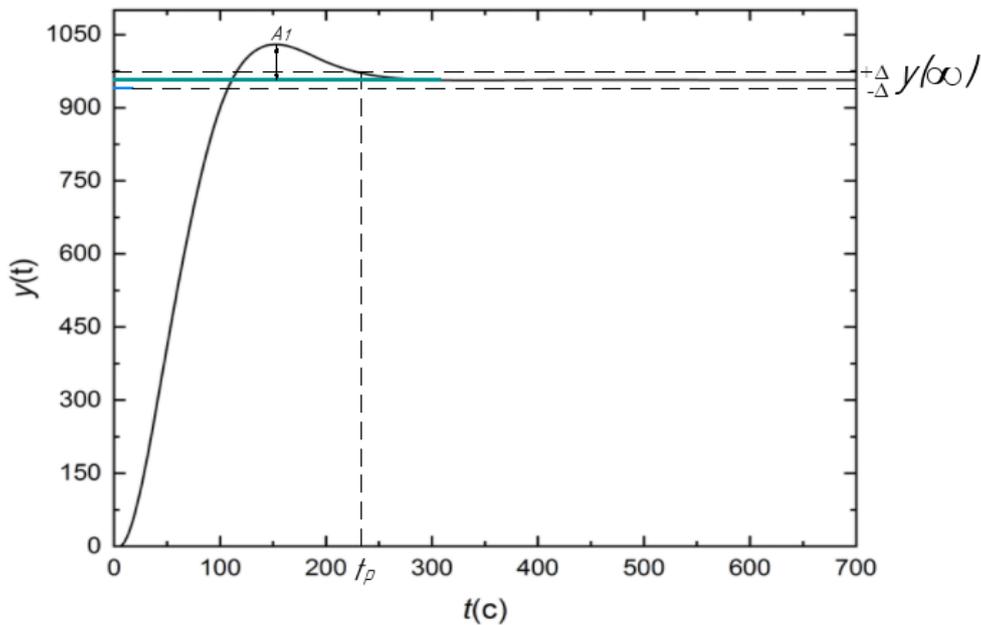


Рисунок 13 – Переходный процесс системы

9.5 Оценка качества переходного процесса

С помощью прямых оценок качества определяется на сколько качественно происходит процесс регулирования. Под качеством регулирования понимается совокупность различных показателей, с помощью которых можно оценить быстродействие, эффективность воздействия и надежность системы с регулятором, а также степень удовлетворенности требований, выдвинутых заказчиком. Оценка качества переходного процесса осуществлялась с помощью рисунка 13 и таблицы 18.

Существуют прямые и косвенные оценки качества, к прямым оценкам качества относятся:

- 1) Динамическая ошибка:

$$A_1 = 186.$$

- 2) Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{186 \cdot 100\%}{957} = 19,44\%.$$

- 3) Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{ст} = S(t) - y(\infty) = 957 - 957 = 0.$$

где $S(t)$ – величина сигнала задания.

4) Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{186 - 0}{186} = 1,$$

где A_2 – вторая амплитуда колебания.

5) Время регулирования $t_p = 230$ с.

10 Разработка мнемосхемы

На данном этапе была разработана мнемосхема, на которой наглядно представлена структура технологического процесса. Данная схема является главным источником информации для оператора. Упрощение восприятия структуры системы с помощью мнемосхемы позволяет оперативнее и качественнее реагировать на события происходящие в процессе работы объекта.

Разработанная мнемосхема представлена на рисунке 14. Схематично изображены камера сгорания, магистрали подачи топлива и воздуха, а также задвижка с электроприводом. На схеме выводятся текущие данные по измерению различных параметров, для удобства оператора также приведены тренды температуры и давления в камере сгорания. В левой части предусмотрены уставки контролируемых и регулируемых параметров.

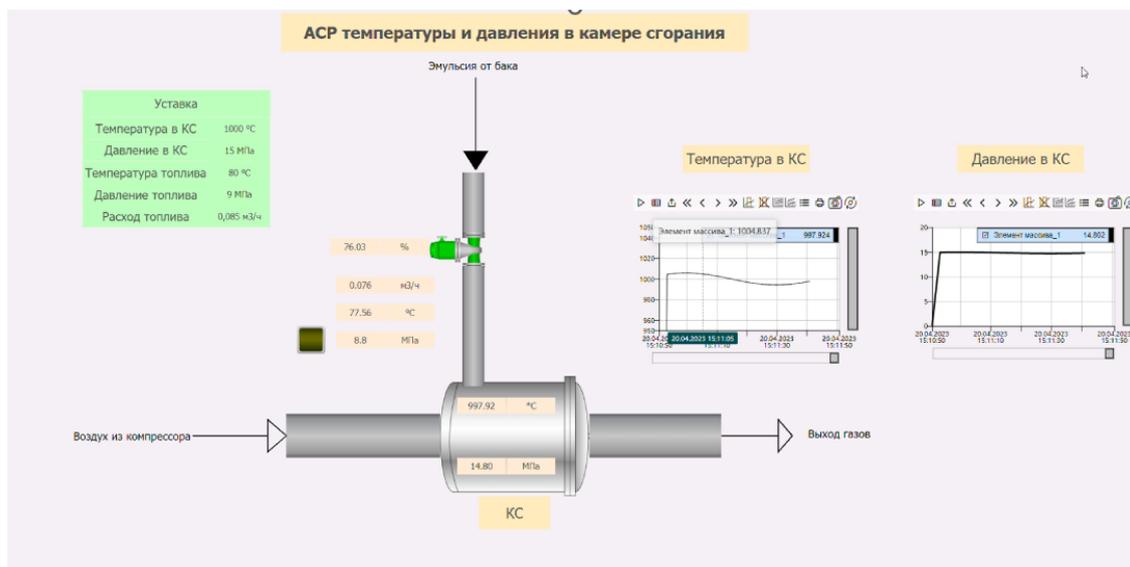


Рисунок 14 – Мнемосхема

Мнемосхема позволяет отслеживать текущее состояние задвижки с помощью цветового индикатора, а также степень открытия в процентах. В

разработанной схеме установлена сигнализация, при достижении давления топлива в магистрали ниже требуемого уровня загорается желтая лампочка «сигнализация».

При разработке данной мнемосхемы использовались языки программирования, такие как ST (Structured Text), FBD (Function Block Diagram).

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Шахрай Михаилу Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И. Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- коэффициент дополнительной заработной платы – 0,12; - норма амортизации – 10-20% - накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общий режим налогообложения. Тариф страховых взносов – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей, конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа.
2. Планирование и формирование бюджета	Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Шахрай Михаил Сергеевич		

11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основная цель данного раздела – произвести расчет нормативной продолжительности выполнения работ согласно теме ВКР и представить календарный график работ с расчетом отдельных статей сметы. В случае, если в ВКР предусмотрено применение новой техники и технологии, необходимо произвести расчет экономической эффективности мероприятия либо сделать обоснование целесообразности разработки инвестиционного проекта.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование и формирование бюджета;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.

11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

11.1.1 Анализ конкурентоспособности технических решений

Сравнение будет производиться по двум конкурирующим топливам:

- 1) Авиационный керосин
- 2) Биокеросин

Таблица 19 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{к+в}	Б _{био}	Б _к	К _{к+в}	К _{био}	К _к
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5	6	7	8
Экологичность	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Возможность применения технологии на производстве	0,15	4	4	5	0,6	0,6	0,75
Удобство эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Актуальность исследования	0,15	5	5	2	0,75	0,75	0,3
Качество регулирования	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Эффективность применения	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Срок эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Цена	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,4
Итого	1	43	41	25	4,45	4,15	3,55

По итогам анализа конкурентноспособности технических решений, можно сделать вывод, что наше исследование является наиболее перспективным по сравнению с другими.

Анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл -го показателя.

$$\begin{aligned}
 K_{K+B} &= \sum B_i \cdot B_i \\
 &= 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 \\
 &\quad + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,45,
 \end{aligned}$$

$$K_{\text{БИО}} = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

$$= 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,15,$$

$$K_{\text{К}} = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

$$= 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2 = 3,55.$$

11.2 Матрица SWOT

С помощью SWOT-анализа можно оценить внутренние ресурсы проекта и сопоставить их с внешними факторами; определить внутренние и внешние риски, а также рассмотреть варианты их минимизации и, возможно, предотвращения.

В таблице 20 приведена итоговая матрица SWOT.

Таблица 20 – Матрица SWOT анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Ориентированность системы на уменьшение выбросов</p> <p>С2. Повышение КПД двигателя за счет уменьшения потерь на недожог</p> <p>С3. Высокая экономичность проекта</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Повышение потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>Сл2. Новизна технологии.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Повышенный спрос на топливо.</p> <p>В2. Замена керосина.</p> <p>В3. Внедрение на отечественный рынок.</p>	<p>Сильные стороны и возможности:</p> <p>1. Экологичность установки и высокая экономичность проекта даст повышенный спрос.</p> <p>2. Повышенный КПД керосина с водой, совместно с экологичностью являются основой для внедрения на отечественный рынок.</p>	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <p>1. Повышение спроса на топливо приведет к повышению потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>2. Новизна технологии может привести к замене традиционного керосина.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на топливо</p> <p>У2. Повышение стоимости на топливо.</p>	<p>Сильные стороны и угрозы:</p> <p>1. Так как технология является экологичной по сравнению с другими, значит, всегда будет привлекательна на рынке.</p>	<p>Слабые стороны и угрозы:</p> <p>1. Высокая стоимость приведет к отсутствию спроса на технологию.</p> <p>2. Из-за повышенных требований технология</p>

У3. Более низкая стоимость у уже используемых топлив. У4. Обращение к другим альтернативным источникам энергии	2. Повышение стоимости на топливо приведет к удорожанию установки в целом.	может стать нецелесообразной.
---	--	-------------------------------

На основе вышеприведенных пунктов можно сделать вывод, что главным достоинством технологии является экологичность, что важно для всех стран.

Данная технология только начинает внедряться, и с каждым годом она будет все больше исследоваться, будут разрабатываться новые установки, что приведет к минимизации недостатков или даже к их устранению.

Из полученных результатов видно, что данная технология является перспективной, что свидетельствует большое количество сильных сторон.

11.3 Планирование научно-исследовательских работ

11.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

При реализации проекта необходимо планировать занятость каждого из участников и сроки проведения работ.

Таблица 21 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инженер
	3	Календарное планирование работ	НР
	4	Подготовка композиционного жидкого топлива для проведения исследований	Инженер
	5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	Инженер
	6	Обработка полученных данных	НР, инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности результатов	НР
Разработка технической документации и проектирование	8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования;	Инженер

		разработка щита управления и мнемосхемы АСУ.	
	9	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инженер
Оформление отчета	10	Внесение исправлений в чертежи и доработка описания к ним.	Инженер
	11	Составление пояснительной записки	Инженер

11.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Продолжительность каждой работы, учитывающую параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

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

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году;

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

В таблице 22 укажем перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}		Длительность работ в кал. днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		Р	Инж.	Р	Инж.
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	НР	1,4	-	2	-
Поиск и изучение литературы по выбранной теме	4	6	4,8	Инж.		4,8		7
Календарное планирование работ	1	2	1,4	НР	1,4	-	2	-
Подготовка композиционного жидкого топлива для проведения исследований	3	4	3,4	Инж.		3,4		5
Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	12	19	14,8	Инж.		14,8		22
Обработка полученных данных	8	12	9,6	НР, инж.	4,8	4,8	9	9

Продолжение таблицы 22

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}		Длительность работ в кал. днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		Р	Инж.	Р	Инж.
Оценка эффективности результатов	4	6	4,8	НР	4,8	-	7	-
Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСУ	15	20	17	Инж.	-	17	-	25
Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	8	11	9,2	Инж.	-	9,2	-	14
Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5	9	6,6	Инж.	-	6	-	10
Составление пояснительной записки	4	6	4,8	Инж.	-	4,8	-	7
Итого	65	97	77,8	-	12,4	64,8	20	99

Таблица 23 - График Ганта

№	Вид работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	НР	2	■												
2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инж	7	■	■											
3	Календарное планирование работ	НР	2		■											
4	Подготовка композиционного жидкого топлива для проведения исследований	Инж	5		■	■										
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	Инж	22			■	■	■	■							
6	Обработка полученных данных	НР, инж	9						■	■						
7	Оценка эффективности результатов	НР	7							■	■					
8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСУ.	Инж	25								■	■	■	■		
	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним.	Инж	14											■	■	

Продолжение таблицы 23

№	Вид работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
10	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инж	10															
11	Составление пояснительной записки	Инж	7															



-Научный руководитель;



-Инженер

График Ганта строится для максимального по длительности исполнения работ на основе вышеприведенной таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10) дней за период времени написания ВКР.

11.4 Бюджет научно-технического исследования

11.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции (в нашем случае для производства композиционного жидкого топлива).

Таблица 24 – Материальные затраты

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Вода дистиллированная	л	5	50	250
Керосин	л	30	420	12600
Масло	л	5	705	3525
Итого				16375

11.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Необходимым оборудованием для проведения работ в рамках исследования является: два датчика температуры и давления, турбореактивный двигатель JetCat P250, компьютер. Данное оборудование будет учитывать по величине амортизации, которая определяется с учетом нормы амортизации и дней использования.

Норма амортизации:

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

где n – срок полезного использования в количества лет.

Норма амортизации для датчика температуры:

$$H_A = \frac{1}{5} = 0,2.$$

Норма амортизации для датчика давления:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Норма амортизации для турбовинтового двигателя JetCat-P250:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Норма амортизации для компьютера:

$$H_A = \frac{1}{20} = 0,05.$$

Амортизация оборудования:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot m,$$

где И – итоговая сумма, тыс. руб.;

m время использования, мес.

Амортизация для датчика температуры:

$$A = \frac{0,2 \cdot 3000}{12} \cdot 0,75 = 37,5 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика давления:

$$A = \frac{0,1 \cdot 14400}{12} \cdot 0,75 = 90 \text{ руб.}$$

Амортизация для турбовинтового двигателя JetCat-P250:

$$A = \frac{0,1 \cdot 570000}{12} \cdot 0,75 = 3562,5 \text{ руб.}$$

Амортизация для компьютера:

$$A = \frac{0,05 \cdot 55000}{12} \cdot 0,75 = 171,9 \text{ руб.}$$

Таблица 25 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Кол-во	Срок полезного использования	Цена оборудования, тыс. руб.	Время использования, мес.	H_A , %	Амортизация
1	Датчик температуры	2	5	1500	0,75	0,2	37,5
2	Датчик давления	2	10	7200	0,75	0,02	90
3	Турбореактивный двигатель JetCat-P250	1	10	570000	0,75	0,1	3562,5
4	Компьютер	1	20	55000	0,75	0,07	171,9
Итого:							3861,9 руб.

11.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата работника:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 3279,9 \cdot 12,4 = 40670,8 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1638 \cdot 64,8 = 106142,4 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дня $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 26 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Выходные/праздники	67	118
Отпуск/невыходы по болезни	55	31
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	216

Среднедневная заработная плата научного руководителя (6-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_d} = \frac{76635 \cdot 10,4}{243} = 3279,9 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера (5-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_d} = \frac{31590 \cdot 11,2}{216} = 1638 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5.

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 39300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 76635 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ руб.}$$

Таблица 27 – Основная заработная плата

Исполнители	Z_{TC} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3279,9	13	40670,8
Инж	16200	0,3	0,2	1,3	31590	1638	65	106142,4
Итого $Z_{осн}$								146813,2

11.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Доп. заработная плата научного руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 40670,8 = 4880,5.$$

Доп. заработная плата инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 106142,4 = 12737,1.$$

11.4.5 Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (40670,8 + 4880,5) = 13665,4 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (106142,4 + 12737,1) = 35666,9 \text{ руб.}$$

11.4.6 Накладные расходы

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, равен 0,16.

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{мат}} + З_{\text{обор}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}$$

$$З_{\text{накл}} = (16375 + 3861,9 + 146813,2 + 17617,6 + 49332,3) \cdot 0,16 = 16320$$

Таблица 28 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	16375
Затраты на оборудование	3861,9
Затраты на основную заработную плату	146813,2
Затраты на дополнительную заработную плату	17617,6
Отчисления во внебюджетные фонды	49332,3
Накладные расходы:	37440

11.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 29 – Бюджет затрат НИИ

Наименование	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты	16375	14300	15900	Пункт 1.3.1
Затраты на оборудование	3861,9	5913,6	3261,5	Пункт 1.3.2
Затраты на основную заработную плату	146813,2	157257,4	150468,6	Пункт 1.3.3
Затраты на дополнительную заработную плату	17617,6	21870,9	19056,3	Пункт 1.3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	49332,3	53190,7	51957,7	Пункт 1.3.5
Накладные расходы	37440	40405,2	38503	Пункт 1.3.6
Бюджет затрат НИИ	271439	292937,8	279147	Сумма ст. 1–6

10.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности:

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

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИР.

$$\Phi_{p1} = 271439 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 292937,8 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p3} = 279147 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{271439}{292937,8} = 0,93,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{292937,8}{292937,8} = 1,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{279147}{292937,8} = 0,95.$$

Наиболее приемлемым с точки зрения финансовой эффективности является 1 вариант исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
Возможность применения технологии на производстве	0,2	4	4	5
Удобство эксплуатации	0,1	4	4	4
Надежность	0,15	4	4	4
Динамическая точность	0,2	4	5	4
Стоимость обслуживания	0,05	4	3	3
Качество регулирования	0,1	5	5	5
Эффективность применения	0,2	5	4	4
Итого:	1	4,5	4,25	4,25

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,5,$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,25,$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,25.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p-\text{исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,5}{0,93} = 4,84,$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,25}{1} = 4,25,$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,05}{0,95} = 4,26.$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$) запишем в общую таблицу.

Таблица 31 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,93	1	0,95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,5	4,25	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,84	4,25	4,26
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,94	0,946

Наиболее эффективным является наш вариант исследования.

11.6 Выводы по разделу

В данном разделе:

- 1) проведен анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке;
- 2) составлен SWOT-анализ для нашего исследования, в котором были выявлены сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы;
- 3) приведена таблица с перечнем этапов, работ и распределением исполнителей;
- 4) определена трудоемкость выполнения работ;
- 5) Построена диаграмма Ганта;
- 6) Произведены расчеты: материальных затрат, затрат на оборудование, основной и дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов. Произведен расчет бюджета затрат НИР, который составил 271439 руб.;
- 7) Рассчитана оценка эффективности НИ. Интегральный показатель финансовой эффективности равен 0,93, интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,5, интегральный показатель эффективности равен 4,84. При сравнении показателей нашего проекта с показателями других, то можно сделать вывод, что наш проект является финансово выгодным и более эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5Б93		ФИО Шахрай Михаил Сергеевич	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образова ния	Бакалавриат	Направлен ие/ специ альность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСУ микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях

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><i>Объект исследования: Турбовинтовой двигатель</i> <i>Область применения: Гражданская авиация</i> <i>Рабочая зона: лаборатория</i> <i>Размеры помещения)15 × 5 м</i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны Турбовинтовой двигатель, ПК, датчики измерения температуры и давления</i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: мониторинг параметров двигателя, контроль исправности двигателя</i></p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Отражены правовые нормы: "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя; ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора; ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места;</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенная запыленность и загазованность; 2. Повышенный уровень шума; 3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;

	<p>4. Длительное сосредоточенное наблюдение.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действием которого попадает работающий;</p> <p>2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, способных вызвать ожоги тканей организма человека;</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: беруши, наушники, специализированная одежда, изоляция проводов.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: работа турбовинтового двигателя не несет вреда селитебной зоне;</p> <p>Воздействие на литосферу: загрязнение литосферы продуктами сгорания керосина;</p> <p>Воздействие на гидросферу: не оказывает вреда гидросфере;</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы дымовых газов, содержащих в себе CO₂, NO_x, SO₂ при работе турбовинтового двигателя.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Взрыв; - Возгорание; <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Возгорание керосина.
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Шахрай Михаил Сергеевич		

12 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа по теме «Автоматическая система управления микро-взрывной фрагментации альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях» посвящена изучению процесса микро-взрывной фрагментации топлив в камере сгорания авиационных двигателей, с целью получения оптимальных характеристик вторичного измельчения для снижения выбросов при эксплуатации авиадвигателей.

Современные тенденции развития гражданской авиации указывают на необходимость повышения топливной эффективности и экологичности применяемых топлив. Применение традиционного авиакеросина все в меньшей степени удовлетворяет перспективным требованиям по экологичности при постоянно растущей на него цене. Кроме того, запасы нефти не безграничны. По мнению многих специалистов, решением нарастающих проблем с нефтяными топливами может быть использование альтернативных видов авиационного топлива. Ряд компаний в разных странах мира совместно с производителями авиационной техники при весомой государственной поддержке активно разрабатывают новые виды топлива.

В качестве объекта исследования была выбрана система регулирования объемного расхода топлива. Областью применения для данной системы является гражданская авиация. Рабочей зоной является помещение размером 15x5 метров, в котором размещается лабораторный стенд компании «ProgramLab», оснащенный двигателем JetCat-P250, регулятором и ПК с программным обеспечением для мониторинга параметров двигателя. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: контроль параметров и исправности работы двигателя (давления и температура в камере сгорания).

В данном разделе будет рассмотрены основные положения, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе эксплуатации данной установки.

12.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция Российской Федерации, т.е., законы и правовые акты, принимаемые в Российской Федерации, не должны противоречить ей.

Согласно ст. 209_1 ТК РФ [13] основными принципами обеспечения безопасности труда являются:

- предупреждение и профилактика опасностей;
- минимизация повреждения здоровья работников

Принцип предупреждения и профилактики опасностей означает, что работодатель систематически должен реализовывать мероприятия по улучшению условий труда, включая ликвидацию или снижение уровней профессиональных рисков или недопущение повышения их уровней, с соблюдением приоритетности реализации таких мероприятий.

Принцип минимизации повреждения здоровья работников означает, что работодателем должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие постоянную готовность к локализации (минимизации) и ликвидации последствий реализации профессиональных рисков [13].

Рабочее место оператора АСУ подразумевает выполнение рабочих обязанностей сидя. Поэтому стоит отметить основные показатели, которые учитываются при выполнении работ сидя. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 “Рабочее место при выполнении работ сидя” конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. [14]. Также высота рабочего места должна быть настроена так, чтобы человеку было комфортно выполнять трудовые обязанности. При этом высота зависит от рода деятельности и от половой принадлежности работника. Кроме того, кресло оператора АСУ также должно

быть выполнено согласно требуемых норм. Данные требования вынесены в ГОСТ 21889-76 “Система “Человек-машина” [15]. Кресло человека-оператора”. Основными эргономическими требованиями к креслу являются:

- кресло должно обеспечивать человеку-оператору соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу;
- кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности;
- при невозможности покинуть рабочее место длительное время конструкция кресла должна обеспечивать условия для отдыха человека оператора в кресле;
- кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении с сохранением естественных изгибов позвоночника;
- конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений;
- кресло оператора должно включать следующие основные элементы: сиденье, спинку и подлокотники. В конструкцию кресла могут быть включены также дополнительные элементы, не обязательные для установки, - подголовник и подставка для ног.

При расположении различного технического оборудования на рабочем месте необходимо согласовать с ГОСТ 22269-76 “Рабочее место оператора” [16]. Взаимное расположение элементов рабочего места”. Важно, чтобы взаимное расположение используемого оборудования не препятствовало трудовому процессу оператора. В работе оператора происходит постоянное взаимодействие со средствами отображения информации для мониторинга параметров, поэтому согласно требованиям, очень часто используемые средства отображения, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от саггитальной плоскости [14].

12.2 Производственная безопасность

При проведении исследований и дальнейшей разработки проектируемого решения согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [17], в таблице 32 приведен перечень возможных опасных и вредных факторов

Таблица 32 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АСУ

Факторы	Нормативные документы
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, способных вызвать ожоги тканей организма человека;	ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [18]
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [19]
Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [20].
Повышенный уровень шума;	СНиП 23-03-2003 [21]
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [22]
Длительное сосредоточенное наблюдение	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [23]

В соответствии с таблицей 32 опишем выявленные вредные и опасные факторы.

- 1) Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, способных вызвать ожоги тканей организма человека

При эксплуатации реактивного двигателя происходит нагрев двигателя. Также в случае аварии, вызванной коротким замыканием в электрической цепи, оборудование для управления имеют способность нагреваться.

Наиболее типичные травмы при работе с двигателем – термический ожог от контакта с нагретым оборудованием.

Правила обращения с высоко-нагретыми материалами представлены в ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [18].

Конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение элементов должны обеспечивать безопасность при использовании лабораторного оборудования по назначению, техническом обслуживании, ремонте и уборке, а также соответствовать эргономическим требованиям.

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

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током при работе с электрическим оборудованием, таким как компьютер, кабели и средства автоматизации. При этом электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое воздействие на организм человека. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам [24]. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 33.

Таблица 33 – Пределы значений напряжений прикосновений и токов [24]

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

При выполнении работ с различными значениями токов необходимо соблюдать правила безопасности, которые закреплены в ГОСТ 12.1.038-82

«ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [19].

3) Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны

При работе авиационного двигателя формируется сильный поток воздуха, который сопровождается пылевыведением. Эта пыль опасна для дыхательных путей и всего организма в целом. Пыль оказывает основное механическое воздействие на кожу, вызывая зуд и покраснение, что указывает на наличие воспалительного процесса. Кроме того, при попадании пыли в глаза возникает конъюнктивит, который проявляется покраснением, слезотечением и иногда припухлостью. При вдыхании пыли, она раздражает верхние дыхательные пути, что при длительном воздействии может привести к воспалению. Для оценки опасности пыли определяют содержание свободного диоксида кремния (SiO_2) в соответствии стандарта, который регламентирует требования к методам контроля содержания аэрозолей (АПФД) и определения содержания свободного диоксида кремния в пыли и сравнивают с ПДК (ГОСТ 12.1.005-88). Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ПДК SiO_2 при содержании пыли от 10 до 70% должна составлять не более 2 мг/м³, если содержание пыли составляет больше 70 %, то ПДК должна составлять не более 1 мг/м³.

Мероприятия по обеспечению безопасности труда при пылевыведении прописаны в ГОСТ Р 55175-2012 «Методы контроля запыленности». Как правило, с целью снижения уровня загазованности и запыленности в помещении часто устанавливают вытяжные системы.

4) Повышенный уровень шума

Во время работы с лабораторным стендом источником шума является авиационный двигатель. Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное

воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты [26].

При отсутствии средств защиты и снижения уровня шума у работника может возникнуть проблемы с нарушением сна, неврозами, нарушением слуха и т.д. В качестве индивидуальных средств защиты от шума могут использоваться специальные наушники, беруши для ушей, противозумные каски, защитное действие которых направлено на изоляцию ушных раковин от шума, а также на поглощение шума. Согласно п.6 «Нормы допустимого шума», СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 представлены в таблице 3 [21]. Таблица 34 – Предельно допустимые уровни шума на рабочих местах для трудовой деятельности в разных категориях тяжести в дБа.

Таблица 34 – Допустимые уровни шума [21]

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

В лабораторных условиях защита от шума на рабочем месте:

- оптимальное размещение шумных машин, позволяющее минимизировать воздействие шума на рабочем месте
- контроль правильности использования средств индивидуальной защиты от шума.

5) Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

При выполнении работ недостаточный уровень освещенности вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или

напряженности. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему утомлению. Кроме создания зрительного комфорта свет оказывает на человека психологическое и физиологическое воздействие. Неудовлетворительная освещенность в рабочей зоне может являться причиной снижения производительности и качества труда, получения травм.

Нормы искусственного освещения представлены в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [22]. Нормы искусственного освещения приведены в таблице 35. Производственное помещение должно иметь естественное освещение. В тех случаях, когда одного естественного освещения не хватает, устанавливается совмещенное освещение. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Таблица 35 – Нормативные показатели освещения производственного помещения [22]

Помещение	Освещение рабочих поверхностей, лк		Коэффициент пульсации освещенности, % не более
	При комбинированном освещении	При общем освещении	
Компрессорные (блоки, станции)	400	200	15

б) Длительное сосредоточенное наблюдение

Технологический процесс является непрерывным, поэтому оператору АСУ необходимо быстро отслеживать различные изменения в системе. Вследствие чего может возникнуть перенапряжение зрительных органов и центральной нервной системы, в следствии чего может возникать переутомление и снижение внимания. Нормы, которые описывают работу при

активном наблюдении, закреплены в СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [23]. В таблице 36 представлены допустимое число объектов для наблюдения, а также число повторяющихся операций за одну смену.

Таблица 36 – Допустимые величины психофизиологических производственных факторов [23]

Факторы трудового процесса	Допустимые	
	Женщины	Мужчины
Длительность сосредоточенного наблюдения (% от времени смены)	От 26 до 50	От 26 до 50
Плотность сигналов (световых, звуковых) в среднем за час работы	От 76 до 175	От 76 до 175
Число объектов наблюдения	От 6 до 10	От 6 до 10
Число элементов или повторяющихся операций	От 9 до 6	От 9 до 6

12.3 Экологическая безопасность

1) Защита литосферы

При работе авиационного двигателя в атмосферу выделяется определённое количество жидких и газообразных продуктов сгорания топлива, которые осаждаются вблизи взлётной полосы и накапливаются в почве. Углеводороды нефти обладают способностью проникать на значительную глубину [27]. Так, в трещиноватых породах авиационный керосин за 5 месяцев проникает на глубину более 700 м. [28].

Должны соблюдаться требования нормативных правовых актов, регулирующих отношения в области охраны земельных ресурсов и недр в соответствии с законами.

2) Защита атмосферы

Наиболее существенным источником негативного воздействия на атмосферу является выход вредных веществ вместе с уходящими газами, образующимися при сжигании авиационного керосина. К вредным газообразным продуктам сгорания относятся: оксиды углерода, оксиды азота, диоксиды серы, твердые частицы, и другие вредные примеси.

Таблица 37 – ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [29]

Наименование вещества	Величина ПДК(мг/м ³)		Класс опасности
	Максимально разовая	среднесуточная	
оксид углерода	5	3	4
оксид азота	0,4	0,06	3
диоксид серы	0,5	0,05	3

Для снижения вредных выбросов целесообразно применять технологию микро-взрывной фрагментации капель топлив. Данный метод вторичного измельчения позволяет повышая площадь сгорания топлива в камере сгорания значительно сократить недожог, повышая тем самым эффективность всей двигательной установки, и снизить количество вредных выбросов.

12.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

- укрытие в защитных сооружениях;
- проведение эвакуационных мероприятий;
- использование средств индивидуальной защиты.

В лаборатории и на производстве наибольшую опасность представляет возникновение возгорания керосина. Поскольку топливо необходимо хранить, для дальнейшего использования, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха. Самой распространенной причиной возникновения пожара является нарушение противопожарных правил. Поэтому персонал должен эти правила хорошо знать и выполнять.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". Рассмотрим категорию помещения – В4, а именно лабораторию. Необходимое количество огнетушителей определяется согласно суммарной площади помещения.

Классы возможных пожаров:

В – горение жидкостей и плавящихся материалов;

С – горение газов.

Таблица 38 – Нормы оснащение помещения огнетушителями [32]

Класс пожара	Огнетушители			
	Пенные и водные огнетушители	Порошковые огнетушители	Хладоновые огнетушители	Углекислотные
В	2	-	-	-
С	-	4	-	-

Проводятся следующие противопожарные мероприятия:

– помещение оборудуется: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; проверена исправность электрической проводки осветительных приборов и электрооборудования;

- каждый сотрудник 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 технике безопасности.

12.5 Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что, соблюдая определенные нормы и правила, возможно обеспечить безопасную работу, не подвергая опасности окружающую среду и людей.

Раздел направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий как на окружающую среду, так и на производственный персонал, а также способы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций и порядок действий при их возникновении.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что оператор АСУ должен иметь III группу по электробезопасности. Допуск персонала с III группой осуществляется на работу с сетями до и выше 1000В, а также дает право самостоятельного обслуживания, осмотра, подключения и отключения оборудования.

По степени пожароопасности помещение лаборатория относится к категории «В4», согласно СП 12.13130.2009 [32]. Следовательно, существует необходимость тщательного подбора персонала, хорошо знающие оборудование и правила мер безопасности. Также существует необходимость в дополнительных средствах тушения, например, пенообразователь.

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (Издание седьмое) помещение лаборатории относится к 1 категории по электробезопасности [19].

Тяжесть труда согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории 2б [23].

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система управления микро-взрывной фрагментации капель альтернативных топлив в турбовинтовых двигателях.

Данная система является трехуровневой. Полевой уровень включает датчики измерения температуры, расхода и давления, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается контроллер, на верхнем уровне – АРМ оператора.

В ходе выполнения дипломного проекта разработана проектная документация: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая, схема монтажная и общий вид щита.

Результатом проведенных экспериментов является обобщение данных по временам задержек микро-взрыва от теплового потока монокомпонентных суррогатов керосина для дальнейшего применения в приложениях авиации.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки конструкторской документации. Кроме того, произведен расчет параметров настройки регулятора. Оптимальными настройками регулятора являются: $K_p = 0,00175$; $T_i = 52,71$. Для оценки качества переходного процесса использовались степень затухания (требуемая 0,998) и первая интегральная оценка. По итогу расчетов степень затухания равнялась единице, что говорит о правильном расчете параметров.

В результате выполненных разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассчитан необходимый бюджет для реализации установки, выявлены опасные и вредные факторы при работе с данной установкой.

Список использованных источников

1. Миягашева В. А., Иншаков Д. Р. Экологические проблемы в авиации и пути их решения //Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – Т. 1. – №. 12. – С. 808-810.
2. Антонов Д. В., Стрижак П.А. Характеристики вторичных фрагментов при микро-взрыве и диспергировании суспензионных топлив //Материалы Восьмой Российской национальной конференции по теплообмену. – 2022. – С. 67-70.
3. Теория авиационных. двигателей ч.1 (РИО). Учебное пособие. Московский государственный технический университет гражданской авиации. 109 с.
4. Журнал «Наука и техника». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naukatehnika.com/свободный>. – Загл. с экрана.
5. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/свободный>. – Загл. с экрана.
6. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.made-in-china.com/co_hlhsensor/product_Ultra-High-Pressure-Transducer-PT750-_ehurshsyg.html/ свободный. – Загл. с экрана.
7. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://emis-kip.ru/свободный>. – Загл. с экрана.
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://privody-gz.ru/wp-content/uploads/2020/04/gz_final_2018_web.pdf– Загл. с экрана.
9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elesy.ru/products/products/plc.aspx/>– Загл. с экрана.
- 10.Рахматов У.Р., Шарипов Н.З. Выбор типового регулятора аспр и определение параметров его настройки для заданного технологического параметра на процесс обжига цементного клинкера // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении.

Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. № 4. Р. 229–233.

11. Куликов В.В., Куций Н.Н. Анализаторы чувствительности автоматических систем с пи-регулятором с переменными параметрами при использовании линии переключения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2020. № 3(19). 57–64.
12. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч.1: Теория линейных систем автоматического управления/ Под ред. А.А. Воронова.-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. шк.,1986.- 367 с. 13. Андык В.С. Теория автоматического управления: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000, 2004, 2005. – 108 с.
13. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 25.02.2022). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
14. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана
15. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012832>, свободный. – Загл. с экрана.
16. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.

17. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправками). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.
18. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901702428>, свободный. – Загл. с экрана.
19. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.
20. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [8]. «Методы контроля запыленности».. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.
21. ТЕХЭКСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Минздрав России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278>, свободный. – Загл. с экрана
22. ТЕХЭКСПЕРТ. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197>, свободный. – Загл. с экрана.
23. ТЕХЭКСПЕРТ. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

24. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению 96 контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200272>, свободный. – Загл. с экрана.
25. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82*. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.
26. <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.
27. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. ШУМ. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный. – Загл. с экрана.
28. Касенкова М. Ю., Завьялова Н. А. ВОЗДЕЙСТВИЕ АВИАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ //Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика. – 2017. – С. 408-411.
29. Абдуллаева У. А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВИАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА //Экономическая безопасность и права человека в контексте гражданского и арбитражного судопроизводства. – 2021. – С. 199-201.
30. ТЕХЭСПЕРТ. ГН 2.1.6.695-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный. – Загл. с экрана.
31. ТЕХЭСПЕРТ. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (Издание седьмое). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030216>, свободный. – Загл. с экрана.
32. ТЕХЭСПЕРТ. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

[Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://docs.cntd.ru/document/1200071156> – Загл. с экрана.