

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 теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях

УДК 681.51:536.24:621.438-6

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Черкасов Роман Евгеньевич		

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.		

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	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
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/ПОП: 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	Черкасов Роман Евгеньевич

Тема работы:

АСУ теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях	
Утверждена приказом директора ИШЭ	10.02.2023, № 41–34/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом автоматизации является турбовальный 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 проводов; 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	10.02.23
---	----------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Черкасов Роман Евгеньевич		

Инженерная школа энергетики
 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	Черкасов Роман Евгеньевич

Тема работы:

АСУ теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных 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	Черкасов Роман Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 100 страниц, 12 рисунков, 40 таблиц 20 литературных источников, 18 листов графического материала.

Ключевые слова: керосин, моделирование, биотопливо, суррогат, турбовальный двигатель, автоматизированная система управления, программируемый логический контроллер.

Объектом автоматизации является турбовальный двигатель.

Цель работы: разработка автоматизированной системы управления теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях.

В процессе выполнения работы разработаны структурная, функциональная и монтажная схемы системы автоматизированного управления теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях. Также были разработаны и оформлены электрическая принципиальная схема и чертеж общего вида щита управления, составлена заказная спецификация приборов и средств автоматизации. Произведен расчет ПИ-регулятора.

В результате выполнения текущей работы создан комплект конструкторской документации для теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях.

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ГТД – газотурбинный двигатель;

ИМ – исполнительный механизм;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РО – регулирующий орган;

ТЗ – техническое задание;

ШИМ – широтно – импульсная модуляция;

SU4 – четырехкомпонентный суррогат керосина;

КС – камера сгорания.

Оглавление

Введение	13
1 Научно – исследовательская работа	15
1.1 Описание экспериментального стенда	16
1.2 Описание методики исследования	17
1.3 Результаты проведенных исследований	18
2 Анализ объекта автоматизации	22
3 Разработка структурной схемы	26
4 Разработка функциональной схемы и заказной спецификации	28
4.1 Разработка функциональной схемы	28
4.2 Составление заказной спецификации	29
4.2.1 Датчик температуры	29
4.2.2 Датчик давления	30
4.2.3 Датчик расхода	30
4.2.4 Газоанализатор	31
4.2.5 Электропривод	32
4.2.6 Программируемый логический контроллер	32
4.2.6.1 Модуль питания контроллера	33
4.2.6.2 Процессорный модуль	34
4.2.6.3 Модуль аналогового входа	35
4.2.6.4 Модуль аналогового выхода	35
4.2.6.5 Коммутационная панель	36
4.2.6.6 Модуль дискретного ввода	37
4.2.6.7 Модуль дискретного вывода	37
5 Разработка монтажной схемы	39

6	Разработка электрической схемы	41
7	Разработка общего вида щита управления	43
8.	Расчет параметров настройки регулятора	44
9.	Идентификация объекта управления	45
10.	Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСУ	47
11.	Построение переходного процесса АСУ по каналу задания s-у	51
12.	Определение вещественной частотной характеристики АСУ по каналу задания.....	52
13.	Оценка качества переходного процесса.....	55
14.	Разработка мнемосхемы	56
14.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
14.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	60
14.1.1	Анализ конкурентноспособности технических решений	60
14.1.2	Матрица SWOT.....	62
14.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	63
14.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	63
14.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	64
14.3	Бюджет научно-технического исследования.....	69
14.3.1	Расчет материальных затрат НТИ	69
14.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	69
14.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	71
14.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей.....	73
14.3.5	Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления).....	73

14.3.6 Накладные расходы.....	73
14.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	74
15 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	74
16 Выводы по разделу.....	77
17 Социальная ответственность.....	80
17.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
17.2 Производственная безопасность.....	82
17.2.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте.....	84
17.2.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения ..	86
17.2.3 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека.....	87
17.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	87
17.2.5 Длительное сосредоточенное наблюдение	88
17.2.6 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.....	89
17.3 Экологическая безопасность	90
17.4. Безопасность в ЧС	91
17.5 Вывод по разделу	93
Заключение.....	94
Список использованных источников:	96
Графический материал.....	На отдельных листах
ФЮРА.421000.010 С1 Схема структурная АСУ теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях	

ФЮРА.421000.010 С2 Схема функциональная АСУ теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях

ФЮРА.421000.010 СО Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

ФЮРА.421000.010 Э4 Схема принципиальная электрическая шкафа автоматизации

ФЮРА.421000.010 ПЭ4 Перечень элементов

ФЮРА.421000.010 Э5 Монтажная схема соединений внешних проводок

ФЮРА.421000.010 ВО Общий вид щита автоматизации

Введение

Развитие современных технологий в настоящее время привело к экологическому кризису, состоящему из нескольких элементов. К ним можно отнести парниковый эффект, загрязнение среды обитания. Настоящий мир вступил в эпоху, когда влияние жизнедеятельности человека на природу проявляется в глобальном масштабе.

Загрязнение окружающей среды продуктами сгорания топлива стало социальной проблемой. Важнейшей задачей исследователей с экологической точки зрения является улучшение характеристик горения традиционных видов топлива. Это требует разработки новых технологий производства топлива с минимальными выбросами в атмосферу. Один из альтернативных вариантов - это внедрение биотоплива в эксплуатацию. При правильном подходе биотопливо может стать неисчерпаемым источником энергии. Кроме того, биокеросин является экологически чистым топливом. Применение топлив, основанных на растительных маслах способны снизить выбросы, как минимум в 2 раза [1] Также важно отметить, что топливо на основе нефти сложно и дорого производить. Биотопливо можно производить с гораздо меньшими затратами. Исследования в области биотоплива на сегодняшний день показывают многообещающие результаты, однако для внедрения данного вида топлива в эксплуатацию необходимо увеличить количество исследований, направленных на изучение характеристик горения, нагрева и испарения биотоплив.

Авиационное топливо имеет многокомпонентный химический состав, что приводит к сложности тепло- и массообменных процессов с их участием [2]. Моделирование нагрева, испарения и зажигания топлива в камерах сгорания реактивных двигателей может занять огромное количество времени при учете особенностей состава топлива. Самым существенным подходом для решения данной проблемы является использование суррогатного топлива, схожим по характеристикам с традиционным керосином.

Поэтому для углубленного изучения биотоплива, первым делом необходимо изучить суррогаты керосина и найти наиболее схожий по теплофизическим свойствам с традиционным топливом.

Целью данной работы является создание комплекта конструкторской документации для автоматизированной системы управления по регулированию теплообмена в камере сгорания.

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

- провести научное исследование по поиску суррогатных топлив для сокращения времени моделирования керосина;
- выполнить анализ объекта автоматизации;
- разработать комплект проектной документации;
- провести 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

Керосин является наиболее распространенным видом жидкого топлива в камерах сгорания авиационных двигателей вследствие высокой теплотворной способности, стабильных термодинамических свойств, сохранения вязкостных характеристик в условиях низких температур на высоте более 9 км [3]. Состав и свойства топлива оказывают существенное влияние на технические характеристики современных авиационных двигателей и антропогенные выбросы. В частности, для авиационной промышленности наибольший интерес представляют такие параметры, как время прогрева и интенсивность испарения [4]. Именно эти данные определяют скорость формирования, состав и характеристики топливовоздушной смеси. Кроме того, скорость испарения капель топлива влияет на пределы устойчивого горения, полноту сгорания, нагарообразование, бесперебойную работу топливных насосов и склонность к образованию паровых пробок в топливной системе в условиях высотных полетов [4].

Целью настоящей работы являлось определение отличий характеристик прогрева и испарения капель авиационного топлива и его суррогатов, а также границ применимости последних при моделировании процессов теплопереноса в камерах сгорания двигателей.

1.1 Описание экспериментального стенда

При проведении экспериментов по испарению капель традиционного керосина и его суррогатов, четырехкомпонентного SU4, использован экспериментальный стенд, представленный на рисунке 1.

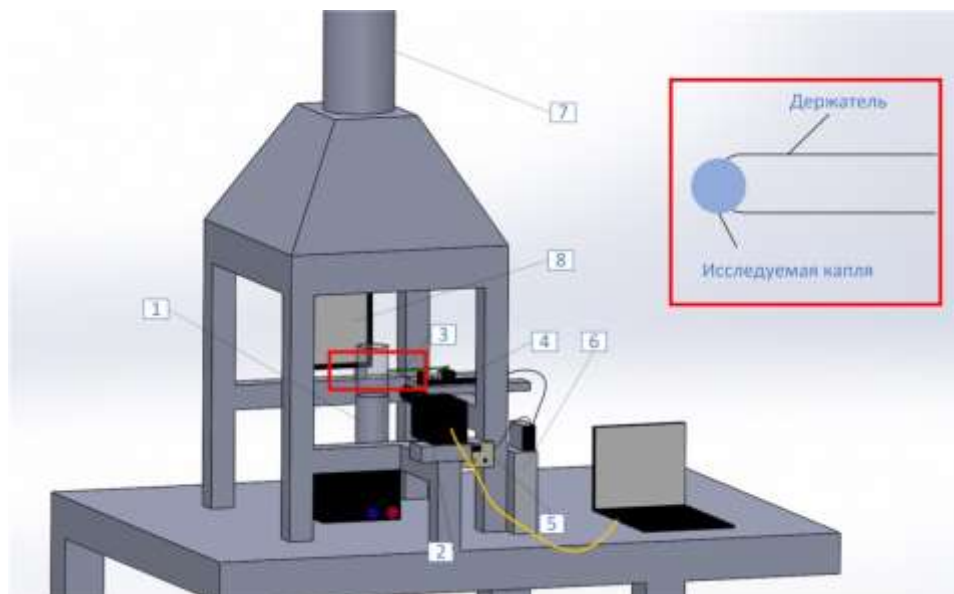


Рисунок 1 - Экспериментальный стенд: 1 – нагреватель и нагнетатель высокотемпературного газового потока Leister, 2 – высокоскоростная камера Phantom Miro M310, 3 – спай хромель-алюмелевой термопары, 4 – шаговый двигатель, 5 – микроконтроллер, 6 - блок питания, 7 – система вентиляции, 8 – прожектор.

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 испарения традиционного керосина и его суррогатов, н-декан и SU4 использовалась кросскорреляционная камера Phantom Miro M310 (2). На первом этапе проведения эксперимента топливные капли генерировались с помощью специального дозирующего устройства, THERMO SCIENTIFIC E1-CLIP TIP, 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 vusum 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 Описание методики исследования

Для исследования характеристик нагрева и испарения авиационных топлив (на примере керосина ТС-1) и их суррогатов (на примере н-декана и SU4, массовое содержание которого приведено в таблице 1) применялся стенд, представленный на рис. 1

Таблица 1 - Массовое содержание компонентов для SU4

	Н - декан	Изоцетан	Тетралин	Метил-циклогексан
Массовая концентрация	0.492	0.202	0.104	0.202

Зона нагрева, в которую вводилась капля, прогревалась заранее до установившегося значения температуры, которое измерялось термопарой. На протяжении всего эксперимента капля находилась на держателе. Область регистрации подсвечивалась с помощью светодиодного прожектора. Процессы прогрева и испарения капель регистрировались с помощью высокоскоростной камеры Phantom Miro M310. Частота съемки при проведении экспериментов составляла 1000 кадров в секунду при разрешении 512×512 пикселей. Полученные по результатам экспериментов видеофрагменты обрабатывались в программных комплексах Phantom Camera Control и MATLAB с использованием собственных алгоритмов обработки. Программное обеспечение MATLAB использовалось для определения размеров капли в

каждый момент времени при ее испарении. Начальными данными для работы программы являлись видеофрагменты формата avi, полученные в Phantom Camera Control. Для расчета эффективного радиуса капли, применялся подход преобразования капли в сферическую форму. 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. Этапы обработки изображений приведены на рис. 2.

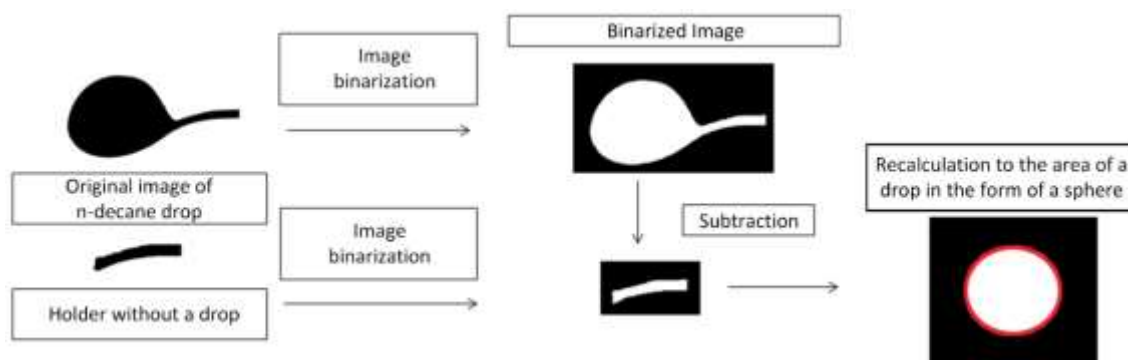
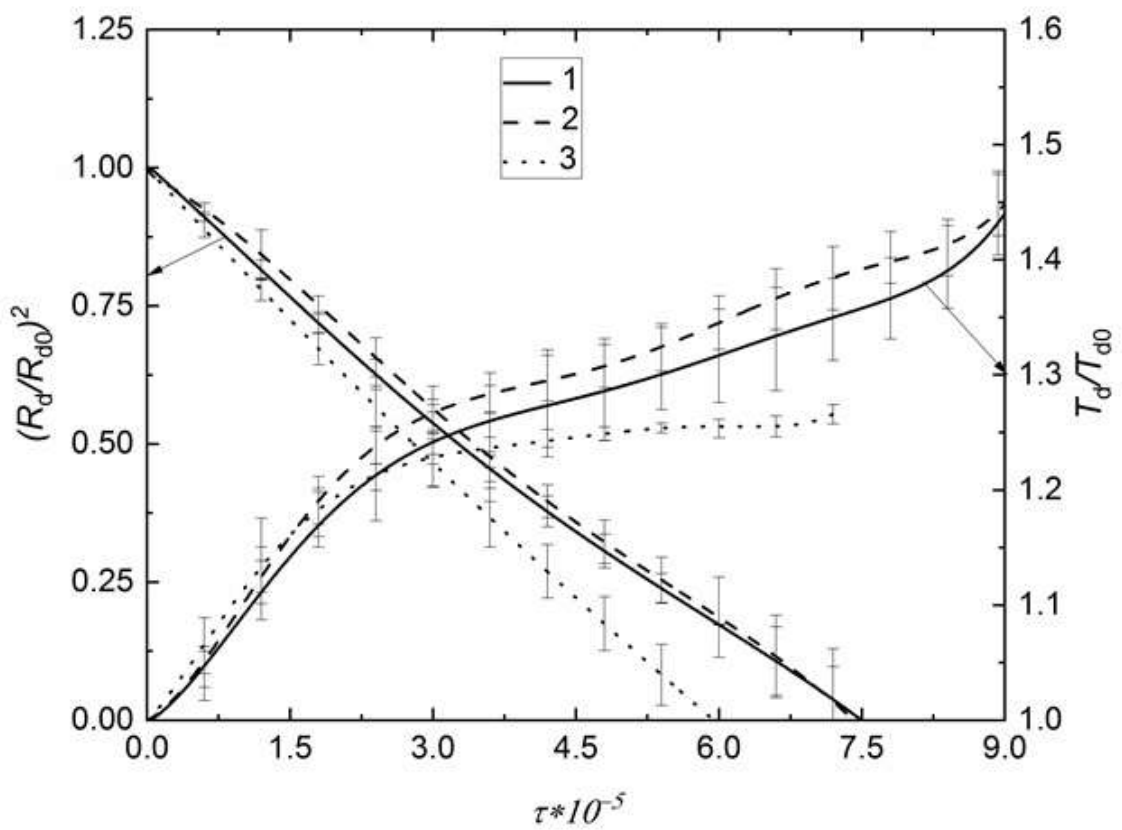


Рисунок 2 - Этапы обработки видеокадров с изображениями капель в программном обеспечении MATLAB.

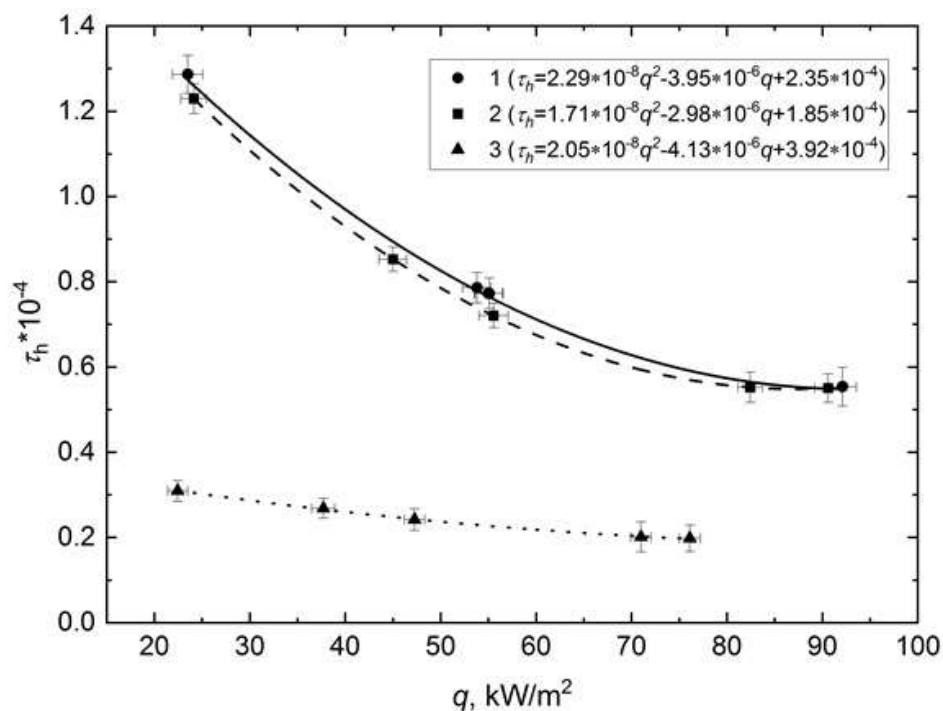
1.3 Результаты проведенных исследований

На рис. 3 приведены результаты по динамике изменения размеров капель н-декана (1), SU4 (2) и керосина ТС-1 (3) в виде $(R_d/R_{d0})^2$ и их средней температуры в виде T_d/T_{d0} при $T_g \approx 490 \pm 5$ К, $U_g \approx 0.10 \pm 0.05$ м/с, $R_{d0} \approx 1.00 \pm 0.038$ мм (рис. 3а). Выбор размера (радиуса) капель обусловлен ограничениями экспериментальной установки. Однако полученные фундаментальные результаты апробации суррогатных топлив даже на крупных каплях позволят перейти на более мелкие капли размерами (радиусами) менее 100 мкм при математическом моделировании. Установлены зависимости времени полного испарения капель τ_h н-декана (1), SU4 (2) и керосина ТС-1 (3) от величины теплового потока q (рис. 3б). Тепловые потоки, подводимые к поверхности капель топлив, рассчитывались по выражению: $q = h \cdot (T_g - (\rho_l L (dR/dt)) / h)$, где h –

конвективный коэффициент теплоотдачи в $W/(m^2 \cdot K)$ ($h = \lambda Nu / 2T_g$), ρ_l – плотность жидкости в kg/m^3 , L – теплота парообразования в $Дж/кг$, (dR/dt) – скорость испарения в $м/с$, и варьировались в диапазоне $10–100$ $кВ/м^2$, что соответствовало диапазону температур газа $450–750$ $К$ и диапазону скоростей потока газа от 0 до 6 $м/с$. Важно отметить, что тепловые потоки, подводимые к каплям изменяются со временем, но для построения зависимостей на рис. 3 использовались значения максимальных тепловых потоков в начальный момент времени.



a)



б)

Рисунок 3 - Динамика изменения размеров капель керосина ТС-1 (1), SU4 (2) и н-декана (3) в виде $(R_d/R_{d0})^2$ и их средней температуры в виде T_d/T_{d0} при $T_g \approx 490 \pm 5$ К, $U_g \approx 0.10 \pm 0.05$ м/с, $R_{d0} \approx 1.00 \pm 0.01$ мм (а). Зависимости времени полного испарения капель τ_h керосина ТС-1 (1), SU4 (2) и н-декана (3) от величины теплового потока q (б) при $T_g = 450-750$ К, $U_g = 0 - 6$ м/с.

При расчете тепловых потоков, подводимых к каплям, тепловой поток от термопары, которая является держателем капли, не учитываются. Теоретические исследования держателя показали, что температуропроводность держателя равнялась $0.14 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}$. Наши прошлые исследования показали, что при температуропроводности менее $0.2 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}$ тепловым потоком от держателя можно пренебречь [5]. Полученные в настоящей работе экспериментальные зависимости по динамике изменения $(R_d/R_{d0})^2$ и $\tau_h(q)$ для SU4 и керосина ТС-1 находятся в удовлетворительном согласии. Во всем временном диапазоне значения $(R_d/R_{d0})^2$, T_d/T_{d0} и $\tau_h(q)$ для этих топлив находятся в пределах доверительного интервала. Характеристики для н-декана более чем на 15–20% отличаются от керосина ТС-1. Соответствующие результаты демонстрируют

границы применимости суррогатов при моделировании условий и характеристик тепломассопереноса в камерах сгорания двигателей, работающих на реактивном топливе. Математическая обработка результатов опытов позволила получить выражения (рис. 3б) для прогнозирования значений характеристик прогрева и испарения в широком диапазоне температуры и скорости потока. В дальнейшем целесообразно в развитие данной работы выполнить изучение последствий характеристик прогрева и испарения капель авиационных топлив размерами (радиусами) менее 100 микрон при разных внешних тепловых условиях с целью анализа возможности заполнения рабочей камеры сгорания топливным аэрозолем.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили установить условия по температуре 450–750 К и скорости потока газов 0–6 м/с, при которых обеспечивается удовлетворительное согласие по времени полного испарения, динамике изменения размеров и средних температур капель традиционного авиационного топлива и его суррогатов. Полученные результаты целесообразно использовать при развитии физических и математических моделей фазовых превращений капель реактивных топлив в камерах сгорания двигателей и энергетических установок.

2 Анализ объекта автоматизации

Авиационные двигатели – это тепловые двигатели, которые устанавливаются на самолетах, как часть силовой установки самолета, обеспечивающие тягу, необходимую для полета в пределах атмосферы. Одним из наиболее представительных двигателей считается авиационный газотурбинный двигатель. Высокие удельные параметры ГТД обеспечиваются особенностями конструкции и термодинамического цикла: цикл ГТД состоит из тех же основных процессов, что и цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания, но с существенными отличиями [6]. В поршневом двигателе процессы происходят один за другим в одном и том же элементе двигателя – цилиндре. В ГТД, напротив, такие же процессы происходят одновременно и непрерывно в различных элементах двигателя. Именно поэтому в ГТД условия работы элементов двигателя неравномерные, как в поршневом двигателе, а средняя скорость и массовый расход рабочих органов в 50 – 100 раз выше, чем в поршневом двигателе. Это позволяет концентрировать большие мощности на небольших ГТД. Данный вид двигателя классифицируется как реактивный с точки зрения создания тяги. Часть двигателей предназначена для самолетов, однако, в данной работе рассмотрен турбовальный двигатель, устанавливаемый для выработки мощности вала в вертолетных силовых установках. Конструкторская схема рассматриваемого вида двигателя представлена на рисунке 4.

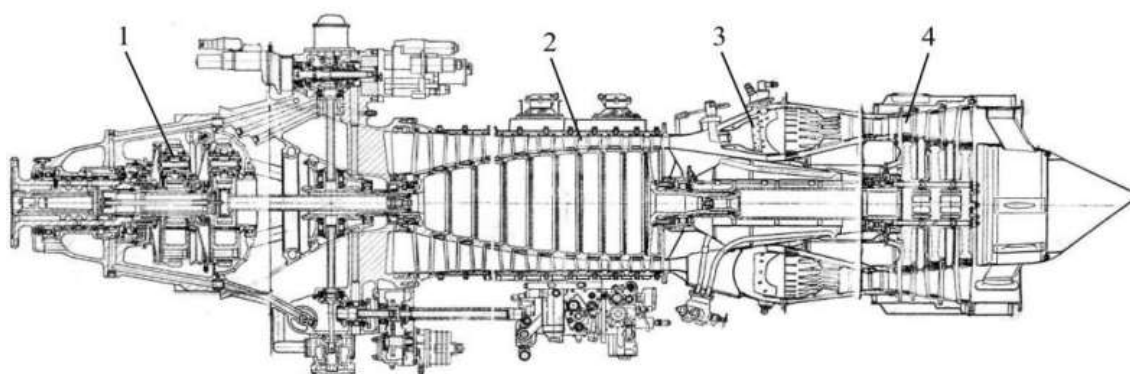


Рисунок 4 – Конструкторская схема ТВД [7]

1 – редуктор, 2 – компрессор, 3 – камера сгорания, 4 – турбина.

При выборе объекта автоматизации используются несколько факторов: экономичность, стабильность работы конструкции, технические и эксплуатационные показатели. Проведем сравнение технических характеристик среди турбовальных двигателей.

Таблица 2. Сравнение двигателей PBS TS100 и ТВД -1500Б [8]

Модель турбовального двигателя	PBS TS100	РД-600В
Мощность на взлетном режиме, кВт	180	150
Удельный расход топлива на взлетном режиме, кг/(л.с · час)	0,220	0,215
Удельный расход топлива на крейсерском режиме, кг/(л.с · час)	0,245	0,235
Частота вращения выходного вала об/мин.	6000	6000
Габариты (L× D),мм	829 × 398	1560 × 760

В таблице выше представлены две модели турбовального двигателя: PBS TS100 иностранного производства и РД-600В отечественного производства. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что отечественный двигатель потребляет немного меньше топлива, однако

проигрывает в мощности и размерах, поскольку РД-600В по габаритам дважды превышает значения PBS TS100. Однако отдадим предпочтение отечественному производителю и выберем РД-600В. Данный двигатель имеет несколько режимов работы, представленных в таблице 3.

Таблица 3. Режимы работы турбовального двигателя РД-600В [8]

Режим работы двигателя	Мощность, л.с
Максимальный	1300
Номинальный	1110
Крейсерский	1000

Главной целью работы является регулирование концентрации паров двигателя. Регулирующее воздействие происходит за счет расхода воздуха. Другими словами, необходимо добиться такого расхода воздуха, чтоб двигатель мог не только полноценно сохранять свою работоспособность, но и свести концентрацию паров к минимуму. Для этого необходимо разобрать процесс работы двигателя в целом; в камеру сгорания поступают топливо и воздух для горения топлива, для улучшения характеристик горения, например, полноты сгорания топлива, в турбовальном двигателе можно поставить завихритель, который содержит множество лопаток для лучшего перемешивания топлива и воздуха. Данная технология также уменьшает расход топлива. Усовершенствованные завихрители способны уменьшить количество загрязняющих воздух веществ, таких как оксиды азота. В таблице 4 приведены регулируемые и контролируемые параметры.

Таблица 4. Регулируемые и контролируемые параметры

Регулируемые параметры	Контролируемые параметры
Расход окислителя(0,0875-0,113 кг/ч)	Температура (1050-1150 К)
	Давление (10-20 МПа)
	Концентрация CO ₂ (6-7 %)
	Концентрация CO (0,003-0,004 ppm)
	Коэффициент избытка воздуха (2,5)

На основании вышепредставленной информации следует перейти к разработке структурной схемы АСУ концентрации паров топлива в камере сгорания турбовального двигателя.

3 Разработка структурной схемы

В первую очередь, необходимо определиться с местом расположения пунктов управления и операторских помещений, а также с тем, как они будут взаимодействовать между собой. Структура управления – это совокупность частей системы, которые могут быть разделены по определенным признакам и пути их передачи. Графическое изображение структуры управления носит название структурная схема.

Для определения принципа работы регулирования необходимо познакомиться с общим видом рабочей установки, представленной на рисунке 5.



Рисунок 5 – Схема рабочей установки

Для выполнения необходимых условий работы двигателя необходимо контролировать и регулировать параметры, используемые при работе данной системы. Для этого первоначально разработана структурная схема системы автоматизации, представленная на ФЮРА 421000.020 С1. Благодаря определенному взаимодействию между объектом автоматизации и системой управления, система автоматизации в целом обеспечивает требуемый результат функционирования объекта.

Регулирование концентрации паров топлива можно добиться с помощью регулирования расхода окислителя, поэтому структурная схема автоматизации заключается в регулировании расхода данного параметра. На контроллер подается заданное значение концентраций паров и сигнал от газоанализатора, который измеряет настоящее значение концентраций паров топлива.

Контроллер же в свою очередь выдает сигнал на электропривод, который, в свое время, регулирует открытие регулирующего клапана, тем самым, регулируя расход окислителя.

Разработанная структурная схема состоит из трех уровней. На высшем уровне находится АРМ оператора, который и производит наладку всего процесса. На среднем уровне находится ПЛК, который собирает все необходимые данные с датчиков, ИМ, РО, находящиеся на полевом уровне, и производит регулирующее воздействие на исполнительный механизм. Данные и ПЛК передаются на АРМ оператора с помощью протоколов Ethernet.

4 Разработка функциональной схемы и заказной спецификации

4.1 Разработка функциональной схемы

Функциональная схема – это документ, описывающий процессы, происходящие в отдельных цепях оборудования или изделия, в общем. Данная схема является поясняющим материалом отдельных процессов, протекающих в целостных функциональных блоках и цепях устройства [9].

При разработке функциональной схемы автоматизации и выборе технических средств, учитывают характеристики технического процесса, агрессивность и токсичность среды, расстояние от места расположения первичного преобразователя, отборных и приемных устройств. Также необходимо учитывать требуемую точность и быстродействие средств автоматизации.

Разработанная схема для регулирования воздуха представлена на ФЮРА 421000.020 С2. Канал 1,2 показывают измерение температуры на входе в камеру сгорания и на выходе соответственно. Канал 3,4 показывает измерение давления также на входе и на выходе камеры сгорания. Для измерения регулируемого параметра канал 5-6 показывает измерение расхода с помощью унифицированного сигнала 4...20, идущего на контроллер. Главной задачей данной работы является регулирования концентрации топлива, для этого созданы каналы 7-8. Газоанализатор с унифицированным сигналом 4...20 измеряет CO и CO₂ топлива и посылает сигнал также на контроллер. Канал 9 служит для отслеживания качества процесса горения в камере сгорания, оценивая недожог и контролируя вредные выбросы, выделяющиеся в процессе горения. Для непосредственного регулирования расхода созданы каналы 11,13 с электроприводами 10б, 12б, с помощью сигнала полученного от контроллера электропривод будет в какой-либо степени открывать или закрывать задвижку, тем самым регулируя расход.

4.2 Составление заказной спецификации

Создание сводной заказной спецификации – одна из задач проектной организации. В заказной спецификации отражается весь комплект приборов и технических средств автоматизации (ТСА). После разработки структурной схемы, описания алгоритма работы системы автоматизации, разработки схемы автоматизации осуществляется подбор оборудования согласно необходимым приборам и ТСА. Позиции, принятые на ФСА присваиваются выбранным приборам и ТСА, также в данном документе излагается наименование приборов и количество, используемое в разрабатываемой системе автоматизации [9]. Для создания спецификации, представленной на ФЮРА421000.021 С0, необходимо выбрать комплект приборов для надежной работы разработанной схемы.

4.2.1 Датчик температуры

Для измерения температуры на входе и выходе камеры сгорания выбраны датчики температуры. При выборе датчика рассматривались следующие модели: Метран – 280, ТП – 2088 компании «Элемер», Метран – 270. Температура в камере сгорания может достигать 1000-1150°C. Сравнение данных датчиков приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение датчиков температуры [10]

Характеристики	Метран – 280	ТП – 2088	Метран – 270
Диапазон измерений, °С	-50...1200	-40...+1250	-40...1000
Выходной сигнал преобразователя, мА	4...20	4...20	4...20
Относительная погрешность, %	0,3	0,5	1,25
Степень пылевлагозащиты	IP65	IP65	IP65
Измеряемая среда	Жидкость, газ, пар, агрессивные среды	Жидкость, газ	Жидкость, газ, пар
Межповерочный интервал	4 года	6 месяцев	4 года

В результате сравнения выбираем Метран – 280. Данный датчик соответствует требуемому диапазону температур, имеет наиболее меньшую погрешность в измерениях.

4.2.2 Датчик давления

Для измерения давления в камере сгорания необходимо найти такой датчик, который удовлетворяет условию: $P = 20$ МПа, $T = 1150^{\circ}\text{C}$. Анализируя рынок, произведем выбор Ultra PT 750. К сожалению, не удалось найти аналог, для выбранного датчика, поскольку все рассмотренные датчики давления не удовлетворяют по температуре, $T = 1150^{\circ}\text{C}$. Характеристики выбранного датчика давления приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Характеристики датчика давления Ultra PT 750 [11].

Характеристики	Ultra PT 750
Диапазон измерений, МПа	0,2-200
Точность, %	0,1
Диапазон рабочей температуры, $^{\circ}\text{C}$	0-1200
Класс защиты	IP68

4.2.3 Датчик расхода

В данной работе расходомер необходим для измерения расхода топлива и окислителя. В таблице 7 приведен сравнительный анализ расходомеров: Rosemount 3051SFC, Элемер-РЭМ, Эмисс-Масс 260.

Таблица 7 – Сравнительный анализ расходомеров [12].

Характеристики	3051SFC	Элемер-РЭМ	Эмисс-Масс 260
Измеряемая среда	Смеси, газ, пар, жидкость	Жидкость, газ	Керосин, бензин
Давление в трубопроводе, МПа	До 15	До 4 МПа	До 25 МПа
Выходной сигнал, мА	4...20	4...20	4...20

Продолжение таблицы 7

Относительная погрешность, %	0,75	0,4	0,5
Пределы измеряемого расхода	0,03 - 1000 м ³ /ч	2 · 10 ⁴ см/ч	50-1200кг/ч

Анализируя таблицу 6, можно сделать вывод, что Элемер-РЭМ не подходит для данной системы, поскольку давление в трубопроводе подачи окислителя и топлива выше 4 МПа. Поскольку Эмисс-Масс 260 направлен на работу с агрессивными средами, а именно с продуктами нефти, выберем данный расходомер.

4.2.4 Газоанализатор

При выборе газоанализатора учитываются несколько факторов: температура измеряемой среды, количество измеряемых каналов. Также в нашем случае обязательным пунктом считается измерение коэффициента избытка воздуха. При анализе рынка сравнивались несколько газоанализаторов: АНКАТ-410, SWG 300, СГГ-6М. Сравнение характеристик приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Сравнение газоанализаторов [13].

Характеристики	АНКАТ-410	SWG 300	БПС-3
Температура, °С	Не более 1200	Не более 550	Не более 50
Выходные сигналы, мА	4...20 или 0...5	4...20	4...20
Определяемые компоненты	O ₂ , CO, CO ₂ , NO, SO ₂ , H ₂ S, HCl, NH ₃ , Cl ₂	O ₂ , CO, CO ₂ , NO, SO ₂ , H ₂ S, H ₂ , CH ₄	O ₂ , CO, CO ₂ , NO
Количество каналов	3	5	1

Анализируя таблицу 8, важно отметить, что для требований к оборудованию необходимо выбрать газоанализатор АНКАТ-410, поскольку

температура в камере сгорания может достигать 1150 °С. Также для измерения концентраций паров топлива необходимо 3 канала измерения. Диапазон измерений газоанализатора АНКАТ-410 приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Диапазон измерений газоанализатора АНКАТ-410 [13].

Характеристика	Величина	
Диапазон измерений	O ₂	(0...21)
	CO	(0...2000) · 10 ⁻⁶
	CO ₂	(0...6000) · 10 ⁻⁶
	SO ₂	(0...3000) · 10 ⁻⁶

4.2.5 Электропривод

Для осуществления регулирования расхода окислителя необходимо выбрать электропривод, работающий при 10МПа и 100°С. Анализируя рынок, выберем ГЗ-А.70 с регулирующим клапаном МЗ 13171.

Таблица 10 – Характеристики РК с электроприводом ГЗ-А.70 [14].

Характеристики	МЗ 13171
Температура, °С	Не более 600
Выходные сигналы, мА	4...20
Электропривод	ГЗ-А.70
Давление, МПа.	16
Диаметр, мм.	80

4.2.6 Программируемый логический контроллер

Основной составляющей схемы является контроллер, роль которого заключается в получении сигналов с полевых датчиков, расчете необходимого расхода окислителя и подачи сигнала на исполнительный механизм, отвечающий за регулирующийся орган окислителя. Для полноценного функционирования контроллеру требуется 11 аналоговых входов и 9 дискретных входов для сигнализации газоанализаторов и крайних положений регулирующих клапанов. Исходя из вышеупомянутых критериев, выберем контроллер Элси ТМК. Поскольку выбранный контроллер имеет модульную структуру, то необходимо подобрать нужные модули. Для этого необходимо

составить таблицу входных и выходных сигналов. Количество проводов при подключении и тип сигнала приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Количество проводов подключения и тип сигнала

Параметр и место снятия импульса	Количество проводов подключения	Тип сигнала
Температура на входе в КС	2	Унифицированный сигнал 4...20 мА.
Температура на выходе КС	2	Унифицированный сигнал 4...20 мА.
Давление на входе в КС	4	Унифицированный сигнал 4...20 мА, питание – 24В
Давление на выходе КС	4	Унифицированный сигнал 4...20 мА, питание – 24В
Концентрация на входе в КС	6	Унифицированный сигнал 4...20 мА, питание 220В (от силового щита), дискретный сигнал - сигнализация
Концентрация на выходе КС	6	Унифицированный сигнал 4...20 мА, питание 220В (от силового щита), дискретный сигнал - сигнализация
Датчик расхода подачи топлива	4	Унифицированный сигнал 4...20 мА, питание – 24В
Датчик расхода подачи окислителя	4	Унифицированный сигнал 4...20 мА, питание – 24В
Концентрация после КС	6	Унифицированный сигнал 4...20 мА, питание 220В (от силового щита), дискретный сигнал - сигнализация

4.2.6.1 Модуль питания контроллера

Жизнеобеспечение контроллера осуществляется за счет модуля питания.

Первое, на что обращается внимание при выборе модуля питания – это напряжение. При эксплуатации контроллера необходимо выбрать модуль питания на 24 В. Анализируя каталог компании «Элеси», выберем модуль TP 712 024 DC. Характеристики данного модуля приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Характеристики модуля питания TP 712 024 DC [15].

Характеристики	TP 712 024 DC
Номинальное напряжение на входе, В.	24
Максимальная рассеиваемая мощность, Вт.	7
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60

4.2.6.2 Процессорный модуль

Для осуществления связи с оператором, необходимо выбрать процессорный модуль, содержащий в себе кабель Ethernet. Основываясь, на компании «ЭлеСи» выберем ТС 712А8 – 1005 ЕТН. Характеристики выбранного модуля приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Характеристики процессорного модуля ТС 712А8 – 1005 ЕТН [15].

Характеристики	ТС 712А8 – 1005 ЕТН
Встроенные коммуникации (интерфейс)	Ethernet – 2шт. RS – 232 – 1 шт. USB 2.0 – 1 шт.
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	7
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60

4.2.6.3 Модуль аналогового входа

При подключении датчиков с унифицированным сигналом необходимо выбрать модуль аналогового входа. С помощью этого модуля контроллер осуществляет принятие сигналов для сбора информации, для осуществления дальнейших управляющих решений. Основываясь на компанию «ЭлеСи» выберем ТА 716 8I DC. Характеристики данного модуля приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики модуля аналогового входа ТА 716 8I DC [15].

Характеристики	ТА 716 8I DC
Количество входов, шт.	8
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	7
Диапазон рабочих температур, °C	0...+60
Диапазон измерения постоянного тока, мА.	0/4...20

4.2.6.4 Модуль аналогового выхода

Для управляющих воздействий на исполнительный механизм, отвечающий за открытие/закрытие регулирующего клапана необходимо выбрать модуль аналогового выхода. Из каталога компании «ЭлеСи» выбран модуль ТА 713 8I 8 DCO. Характеристики описываемого модуля приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики модуля аналогового входа/выхода ТА 713 8I 8 DCO [15].

Характеристики	ТА 713 8I 8 DCO
Количество выходов, шт.	8/8
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	5
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60
Диапазон измерения постоянного тока, мА.	-20...+20

4.2.6.5 Коммутационная панель

Для организации электрических соединений между модулями контроллера ЭЛСИ-ТМК, используемые модули необходимо установить на коммутационную панель. Характеристики выбранного оборудования приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики коммутационной панели ТК 711 6 [15].

Характеристики	ТК 711 6
Количество подключаемых модулей, шт.	Модуль питания – 1 Процессорный модуль – 1 Интерфейсный модуль – 6
Срок службы, лет	20
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60

4.2.6.6 Модуль дискретного ввода

При работе исследуемой установки, как и в любых других, существует вероятность возникновения аварии. Для сообщения информации о критических ситуациях и о крайних положениях исполнительных механизмов необходимо выбрать модуль дискретного ввода. Из каталога компании «ЭлеСи» выберем ТК 721 16I 024DC. Характеристики выбранного модуля приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Характеристики выбранного модуля ТК 721 16I 024DC [15].

Характеристики	ТК 721 16I 024DC
Количество входов, шт.	16
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	3
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60
Индикация режимов работы	Инициализация Рабочий режим Авария модуля

4.2.6.7 Модуль дискретного вывода

В исследуемой АСУ сигнализация реализуется с помощью сигнальной лампочки. При подключении данной лампочки необходимо выбрать модуль дискретного вывода. С помощью этого модуля контроллер, считывая значения критических параметров с полевых датчиков, передает управляющий сигнал на лампочку для ее зажигания. С каталога «ЭлеСи» выбран модуль дискретного вывода - ТА 713 8I 8 DCO. Характеристики выбранного модуля приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристики модуля дискретного вывода ТА 713 8I 8 DCO [15].

Характеристики	ТА 713 8I 8 DCO
Количество выходов, шт.	32
Максимальная потребляемая мощность, Вт.	6
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+60
Индикация режимов работы	Сброс и инициализация модуля Рабочий режим Изменение состояния выхода Авария модуля
Защита от перенапряжения	+

Выбрав необходимое оборудование необходимо составить спецификацию, представленную на ФЮРА 421000.020 С0. С помощью данного документа происходит осуществление поставок средств автоматизации проектировщику.

5 Разработка монтажной схемы

Монтажная схема представляет собой комбинированную схему, показывающая электрические соединения между различными приборами, датчиками и компонентами автоматизации. Данная документация предназначена для использования ее при монтаже, ремонте, техническом обслуживании. Описанные схемы должны содержать: перечень элементов, первичные приборы, групповые установки приборов.

Для разработки монтажной схемы в верхней части листа первым делом рисуется таблица, в которой расписывается название параметра и место, с которого будет считываться импульс. Под таблицей изображаются контрольно – измерительные приборы, строго под обозначением, которое было присвоено датчику на функциональной схеме. Провода с полевых датчиков заводятся в клеммную коробку.

В ходе разработки монтажной схемы необходимо выбрать клеммные коробки и кабеля для соединения измерительных приборов и щита автоматизации, силового щита. В разработанной монтажной схеме используются кабели, такие как КВВГ и ВВГ нг.

КВВГ - контрольный кабель, с медной жилой, изоляцией ПВХ, оболочкой из ПВХ. Тип кабеля предназначен для создания соединений с электроприборами и аппаратами различного типа. Рассчитан на максимальное переменное напряжение до 660 В.

ВВГ нг - это силовой кабель, с медной жилой, изоляцией из ПВХ, оболочкой из ПВХ пониженной горючести. Номинальное переменное напряжение 0,66/1 кВ Количество жил 1 - 5 жил. Используем его для подключения силового щита.

Выбор клеммных коробок, служащих для воссоединения кабелей, осуществляется по числу клемм. Для удобства соединений для измерительных приборов выберем 3 клеммных коробки, первая из которых предназначена для

датчиков температуры, датчика давления. Вторая клеммная коробка отведена для соединения датчиков давления и расходов, данная клеммная коробка содержит в себе 16 разъёмов. Третья клеммная коробка полностью отведена под измерение концентрации. Сигнализация от газоанализаторов проводится без клеммной коробки. В нижней части первого листа рисуется щит автоматизации, в который приводятся унифицированные сигналы и сигналы сигнализаций с датчиков концентраций. Питание щита осуществляется от силового щита с помощью провода 1.

Второй лист монтажной схемы отводится полностью для исполнительных механизмов, электроприводов. Рисуется данный лист аналогично первому.

Полученная схема приведена на ФЮРА 421000.020 Э5.

6 Разработка электрической схемы

В данном разделе разработана схема принципиальная электрическая схема АСУ теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях, которая приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.020 Э4.

На листе 1 с шифром ФЮРА.421000.020 Э4 представлена электрическая схема подсистемы электрического питания, микроклимата щита управления. Разработанный лист включает в себя: розетку для питания (XS0), автоматический выключатель, предназначенный для защиты цепи, защита от перенапряжений (Z01), блок питания (G1), источник бесперебойного питания (G2), предназначенные для поддержки неизменного напряжения, при некотором значении перегрузки, выпрямляют его или вовсе отключают при коротком замыкании на входе, концевой выключатель (SQ1) предназначенный для автоматического включения/выключения лампы при открытии/закрытии двери ШУ. В шкафу предусмотрено внутреннее рабочее освещение (лампа EL1) для обслуживания и ремонта. Для защиты от перегрева в шкафу предусмотрен вентилятор (M1) и термореле (KK1).

На листе 2 расположены модуль питания контроллера, процессорный модуль. На данной и последующей странице расположены модули аналогового ввода и выхода, для разделения аналоговых сигналов и для обеспечения гальванической развязки устанавливаются преобразователи аналоговых сигналов (UY1.1 – UY5.1). В области А1 расположена таблица с наименованием модулей контроллера и их обозначением.

На листах 4 – 5 распложены модули для дискретных сигналов. Первый отображает дискретный ввод для получения информации контроллером критических значений параметров, а именно концентраций. На 5 листе расположен дискретный вывод для управляющих воздействий контроллера. Для безопасного подключения дискретных модулей и контроллера используют релейный модуль.

Лист 6-7 отводится для двух исполнительных механизмов, поскольку выбраны одинаковые электроприводы, то и подключение осуществляется одинаковое.

7 Разработка общего вида щита управления

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.020 ВО.

Целью данного этапа является составление чертежей необходимых для изготовления щита, компоновка электрических проводок и оборудования, которое расположено внутри.

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

В верхней части чертежа располагается коммутационная панель, на которой закреплены модули контроллера А1-А6 на горизонтальной панели щита управления. Правее 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 расположено пять преобразователей аналоговых сигналов, а также релейные модули

В нижней части шкафа расположены блоки зажимов, разделенные на 24В и 220В также как и релейные модули. Проведение проводов осуществляется через специально закрытые коробки, которые расположены по разным сторонам шкафа автоматизации, по одной стороне прокладываются провода 24В, а по другой в 220В.

8. Расчет параметров настройки регулятора

В современном мире существует множество устройств контроля и управления, в которых необходимо рассчитать наилучшие параметры для объекта. Оптимизируя настройки, повышается производительность труда, уменьшаются затраты на энергию, что в итоге приводит к сохранению природных энергоресурсов и улучшению состояния окружающей среды [16].

Каждая АСУ содержит в себе объект, который работает по определенному закону регулирования. Работа объекта зависит от управляющего сигнала, поступившего от регулятора. С помощью данного сигнала рассчитывается необходимая итоговая величина производственного процесса. В настоящий момент существует 6 законов регулирования, однако в представленной работе осуществляется расчет параметров ПИ – регулятора. Регуляторы данного типа широко применяются в системах подчиненного управления [17].

Для получения качественного переходного процесса необходимо рассчитать настройки регулятора. Важно отметить, что в настоящее время отсутствует общая методика расчета настроек ПИ - регулятора. В проделанной работе строилась кривая разгона для определения передаточной функции объекта, с помощью метода РАФЧХ проводился расчет оптимальных настроек регулятора.

Метод интегрального синуса позволяет с помощью вещественной части системы рассчитать переходный процесс, по которому проводится оценка качества процесса и соответствие необходимым требованиям.

Основными показателями качества процесса регулирования являются: продолжительность (время) регулирования, степень затухания, перерегулирование.

9. Идентификация объекта управления

Идентификация – это поиск идентичной объекту в каждый момент времени его работы математической модели. В настоящее время существует два способа проведения идентификации: аналитический и экспериментальный. В первом случае передаточная функция определяется по конструктивным характеристикам объекта. Во втором случае на объекте проводят разного рода испытания для определения кривой разгона, с помощью которой в дальнейшем находят передаточную функцию. Поскольку у нас присутствует объект автоматизации, то мы смогли построить кривую разгона, следовательно, смогли провести испытания для экспериментального способа идентификации.

В данной работе для объекта управления использован тренд температуры за турбиной авиационного двигателя. На рисунке 6 представлена кривая разгона по данному параметру.

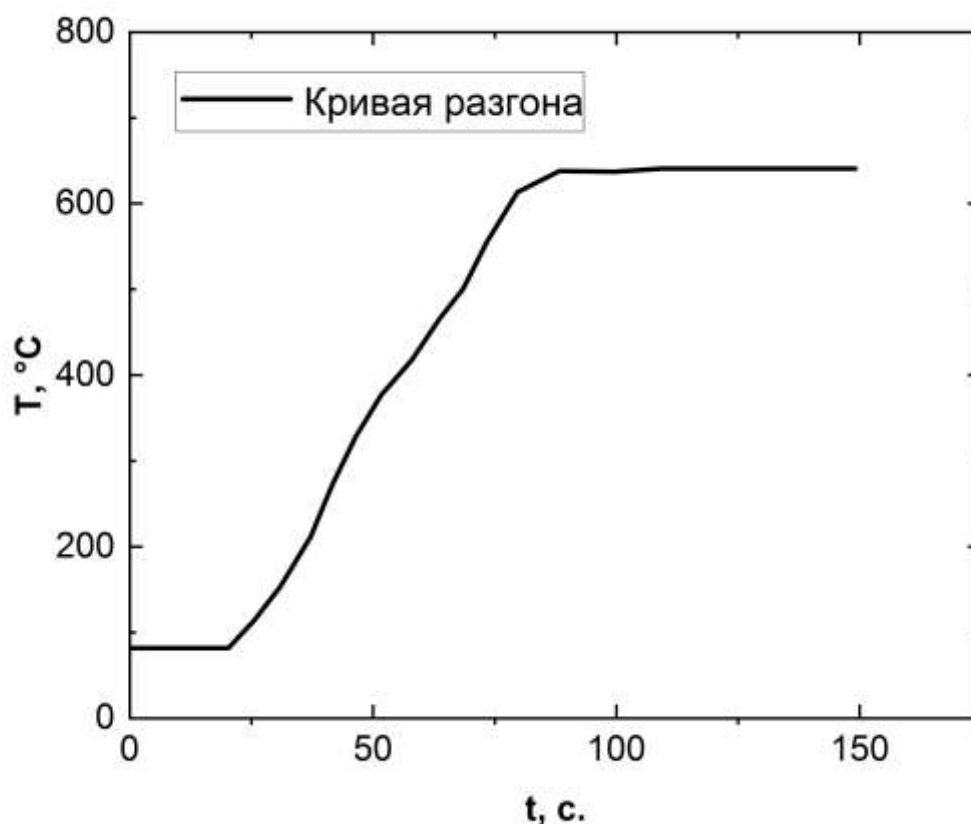


Рисунок 6 – Кривая разгона объекта управления

Для определения параметров, необходимо провести дополнительные построения, приведенные на рисунке 7.

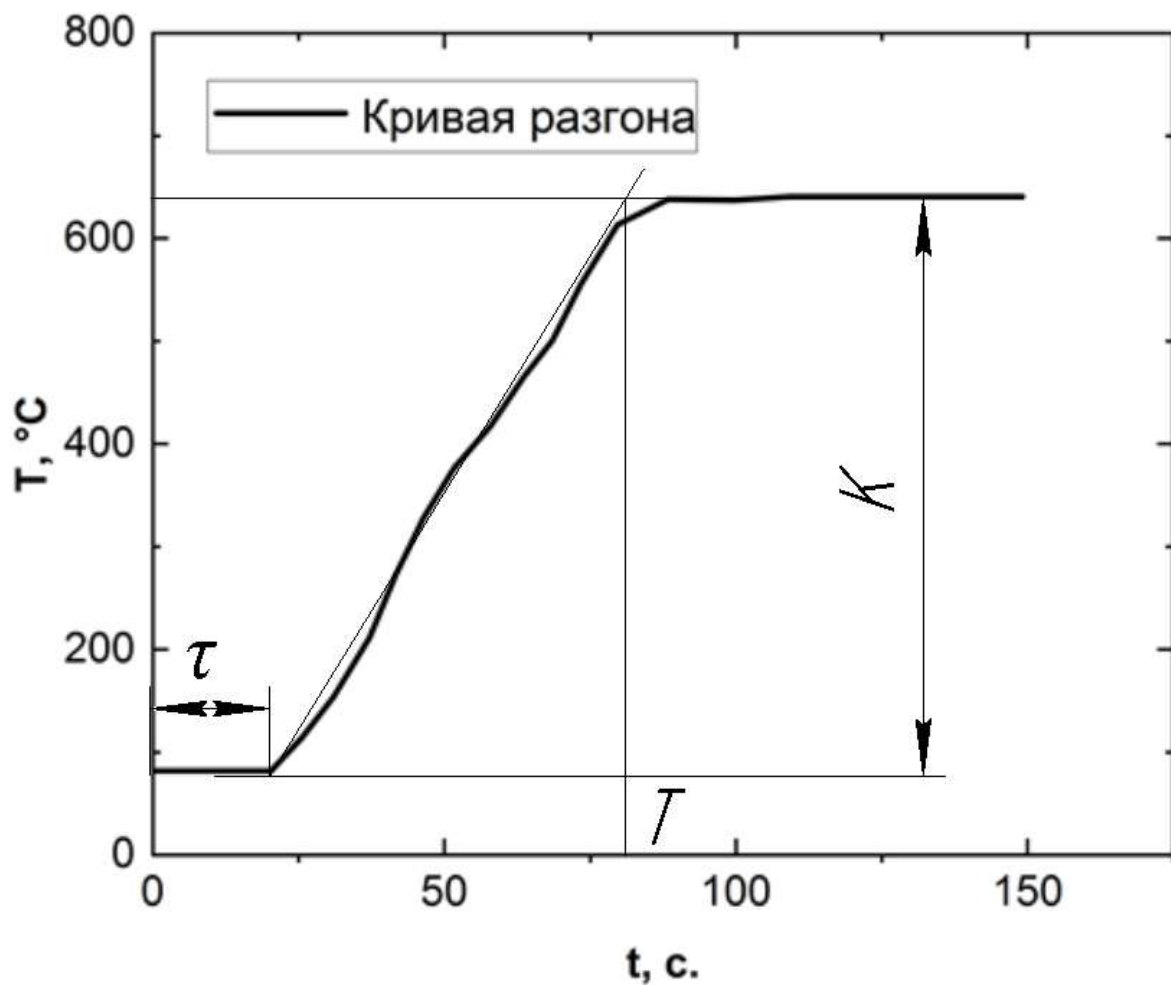


Рисунок 7 – Кривая разгона объекта с дополнительными построениями

По рисунку 2 определяем параметры объекта: коэффициент усиления, $K = 641$, постоянная времени, $T = 79$ с., время запаздывания, $\tau = 22$ с.

Передаточной функцией объекта является апериодическое звено первого порядка с запаздыванием:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{T_{об}P + 1} e^{-P\tau} = \frac{641}{79P + 1} e^{-22P},$$

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

10. Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСУ

Структурная схема регулирования представлена на рисунке 8:

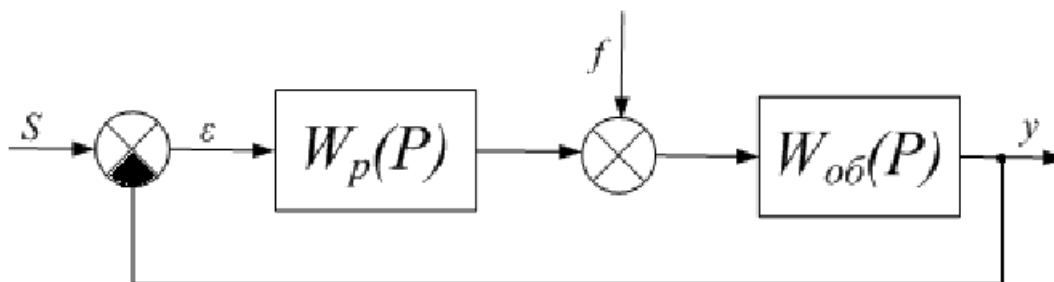


Рисунок 8 – Структурная схема регулирования

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 19.

Таблица 19 – Таблица соответствия оценок запаса устойчивости [18]

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, s^{-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:

$$W_{об}(P) = \frac{641}{79P + 1} e^{-22P}.$$

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

$$W_{об}(m, i\omega) = \frac{641}{79(-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1} e^{-22(-0,989 \cdot \omega + i \cdot \omega)}.$$

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 $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$ и конечное значение частоты $\omega = 0,5 \text{ с}^{-1}$. 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 20.

Таблица 20 – Расширенные частотные характеристики и параметры настройки регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(m, \omega)$	$Im(m, \omega)$	$A(m, \omega)$	$\frac{K_p}{T_{\text{и}}}$	K_p
0	641	0	641	0	-0,00156
0,001	703,9401	-75,9569	708,0262	$3 \cdot 10^{-7}$	-0,00125
0,002	759,5645	-177,14	779,9467	$1,15 \cdot 10^{-6}$	-0,00096
0,003	797,1387	-305,703	853,7474	$2,49 \cdot 10^{-6}$	-0,00068
0,004	802,5832	-458,306	924,2207	$4,25 \cdot 10^{-6}$	-0,00041
0,005	762,0674	-622,754	984,1588	$6,36 \cdot 10^{-6}$	-0,00015
0,006	668,9192	-777,84	1025,908	$8,77 \cdot 10^{-6}$	9,54E-05
0,007	530,0109	-899,606	1044,128	$1,14 \cdot 10^{-5}$	0,00033
0,008	365,1836	-971,777	1038,128	$1,43 \cdot 10^{-5}$	0,000553
0,009	198,5332	-992,255	1011,922	$1,73 \cdot 10^{-5}$	0,000764
0,01	48,64085	-970,838	972,0561	$2,03 \cdot 10^{-5}$	0,000965
0,011	-75,4394	-921,986	925,0674	$2,34 \cdot 10^{-5}$	0,001154
0,012	-172,525	-858,84	875,997	$2,66 \cdot 10^{-5}$	0,001332
0,013	-245,738	-790,791	828,0923	$2,97 \cdot 10^{-5}$	0,001499
0,014	-299,649	-723,541	783,1353	$3,27 \cdot 10^{-5}$	0,001655
0,015	-338,721	-660,082	741,9163	$3,56 \cdot 10^{-5}$	0,001801
0,016	-366,701	-601,694	704,6316	$3,84 \cdot 10^{-5}$	0,001937
0,017	-386,516	-548,686	671,1564	$4,1 \cdot 10^{-5}$	0,002063
0,018	-400,364	-500,86	641,2118	$4,34 \cdot 10^{-5}$	0,002179

На рисунке 9 приведен график границы запаса устойчивости, где подбираются оптимальные параметры настройки регулятора. Поскольку для

проверки была взята первая интегральная оценка, то необходимо взять максимальное значение, изображенное на рисунке 9.

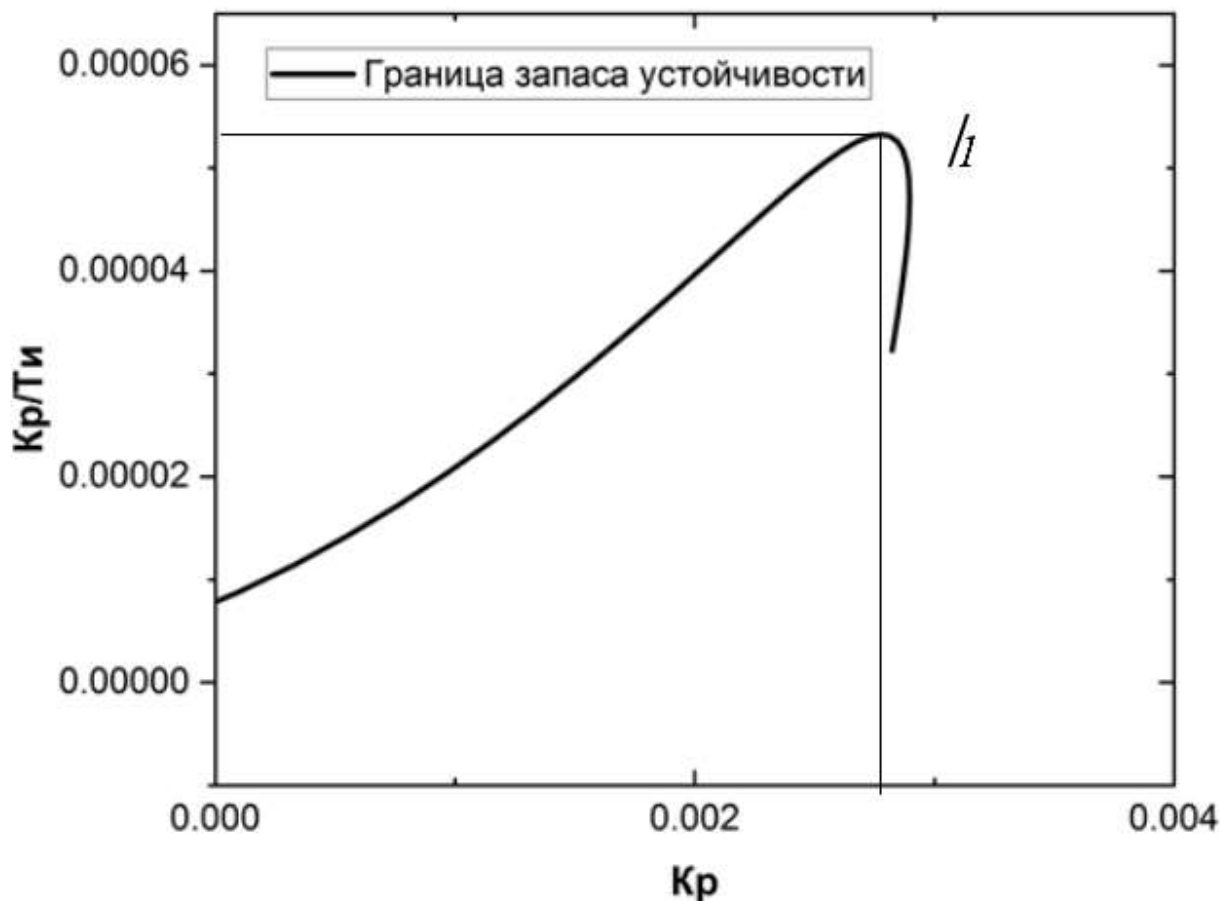


Рисунок 9 – График границы запаса устойчивости

Точка, отмеченная на рисунке 9, как I_1 соответствует параметрам настройки регулятора, удовлетворяющие первой интегральной оценке качества.

Таким образом, оптимальные параметры настройки регулятора:

$$K_p = 0,0027; \frac{K_p}{T_i} = 5,31 \cdot 10^{-5}; T_i = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_i}} = \frac{0,0027}{5,31 \cdot 10^{-5}} = 50,84;$$

$$\omega_{рез} = 0,025.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i P}\right) = 0,0027 \cdot \left(1 + \frac{1}{50,84 P}\right).$$

11. Построение переходного процесса АСУ по каналу задания s-y

Для построения и расчета переходных процессов чаще всего используют частотные методы. Два основных: метод трапеций и метод интегрального синуса. Эти методы основаны на построении переходных процессов с помощью вещественной частотной характеристики (ВЧХ) системы. В данной работе будет использован 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:

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

12. Определение вещественной частотной характеристики АСУ по каналу задания

$$W_{сис}(P)_{s-y} = \frac{W_p(P) \cdot W_{об}(P)}{1 + W_p(P) \cdot W_{об}(P)} = \frac{0,0027 \cdot \left(1 + \frac{1}{50,84P}\right) \cdot \frac{641}{79P + 1} e^{-22P}}{1 + 0,0027 \cdot \left(1 + \frac{1}{50,84P}\right) \cdot \frac{641}{79P + 1} e^{-22P}},$$

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

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

$$W_{сис}(i\omega)_{s-y} = \frac{0,0027 \cdot \left(1 + \frac{1}{50,84i\omega}\right) \cdot \frac{641}{79i\omega + 1} e^{-22i\omega}}{1 + 0,0027 \cdot \left(1 + \frac{1}{50,84i\omega}\right) \cdot \frac{641}{79i\omega + 1} e^{-22i\omega}}.$$

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 21.

Таблица 21 – Расчет вещественной частотной характеристики (ВЧХ) системы по каналу задания.

ω	$Re_{сис}(\omega)_{s-y}$
0	1,029
0,001	0,809
0,002	0,106
0,003	-0,471
0,004	-0,634
0,005	-0,581
0,006	-0,468
0,007	-0,352
0,008	-0,252
0,009	-0,17
0,01	-0,104

Резонансная частота:

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

По формуле интегрального синуса рассчитываем переходный процесс с помощью программы Mathcad при $s(t)=641 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} y(t) &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{\text{рез}}} \frac{Re(\omega) \cdot s(t)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega \\ &= \frac{2 \cdot 641}{\pi} \int_0^{0,018} \frac{Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \end{aligned}$$

Задаём диапазон изменения времени $t = 0..2000 \text{ с}$. с шагом $\Delta t = 100 \text{ с}$ и получаем результат, указанный в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет переходного процесса

t, с	y(t)
0	0
100	774,474
200	644
300	639,621
400	641,21
500	641,032
600	640,978
700	640,964
800	641,008
900	641,03
1000	641,001
1100	640,976
1200	640,992
1300	641,018
1400	641,012

Переходный процесс изображен на рисунке 10.

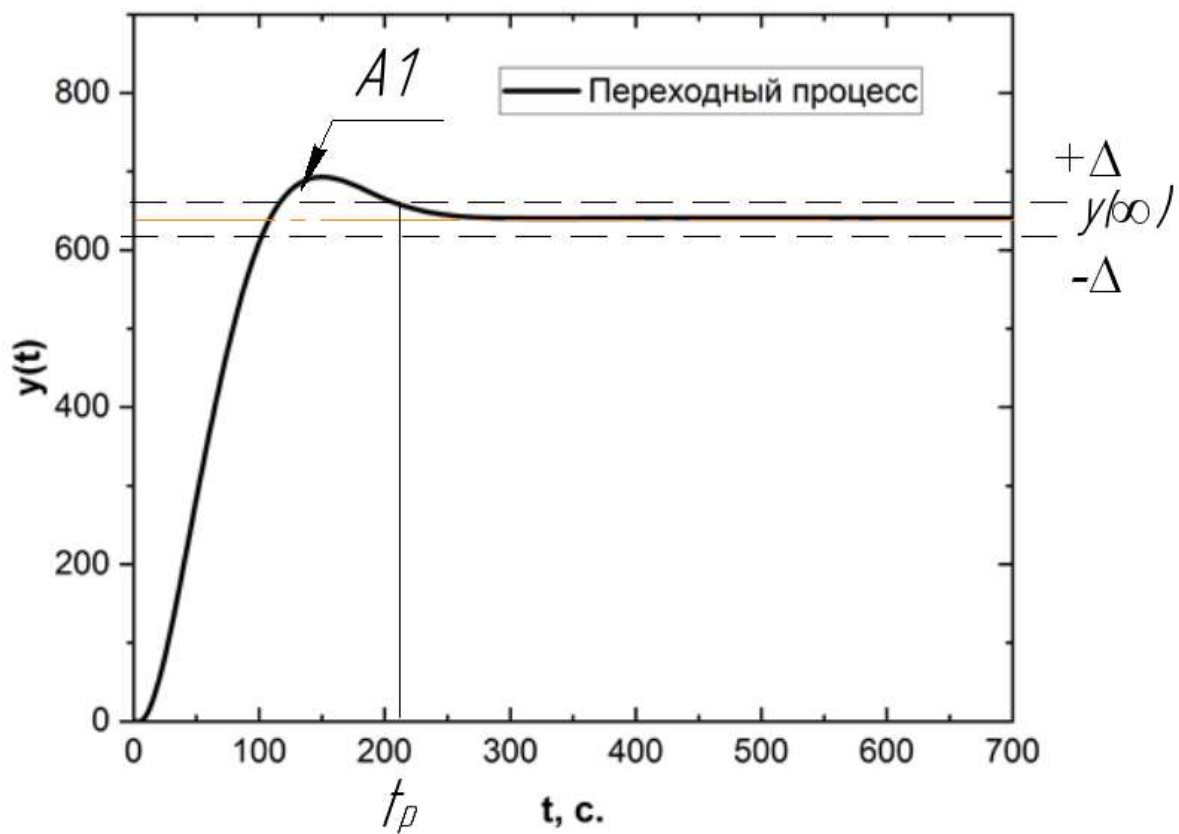


Рисунок 10 – Переходный процесс системы

13. Оценка качества переходного процесса

Оценки качества переходного процесса указывают на качество 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 6 и таблицы 3.

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

- 1) Динамическая ошибка:

$$A_1 = 133.$$

- 2) Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{133 \cdot 100\%}{641} = 21\%.$$

- 3) Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{ст} = S(t) - y(\infty) = 641 - 641 = 0.$$

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

- 4) Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{479 - 0}{479} = 1,$$

где A_2 – вторая амплитуда колебания.

- 5) Время регулирования $t_p = 220$ с.

14. Разработка мнемосхемы

Мнемосхема – это набор сигнальных устройств и сигнальных изображений оборудования и внутренних соединений управляемого объекта. Информация, отображаемая на данном виде схем, может быть представлена в виде аналоговых, дискретных или релейных сигналов, а также может быть отображена графически.

Разработанная схема содержит в себе 3 окна. Первое изображение показывает структуру, из которой состоит авиадвигатель: электрический стартер, турбина, компрессор, впускной воздушный клапан. На данном этапе измеряются ключевые параметры данной работы: концентрация CO и CO₂, которые влияют на рабочие характеристики двигателя, в частности на температуру и давление, Поскольку процессы в авиадвигателе считаются сложными, то необходимо установить 2 типа датчиков на входе в камеру сгорания и на выходе. Визуальное изображение процесса помогает оператору отслеживать и контролировать весь процесс, включая текущее состояние системы. Также на главном виде прописаны уставки контролируемых и регулируемых параметров. Окно с главным видом приведено на рисунке 11.

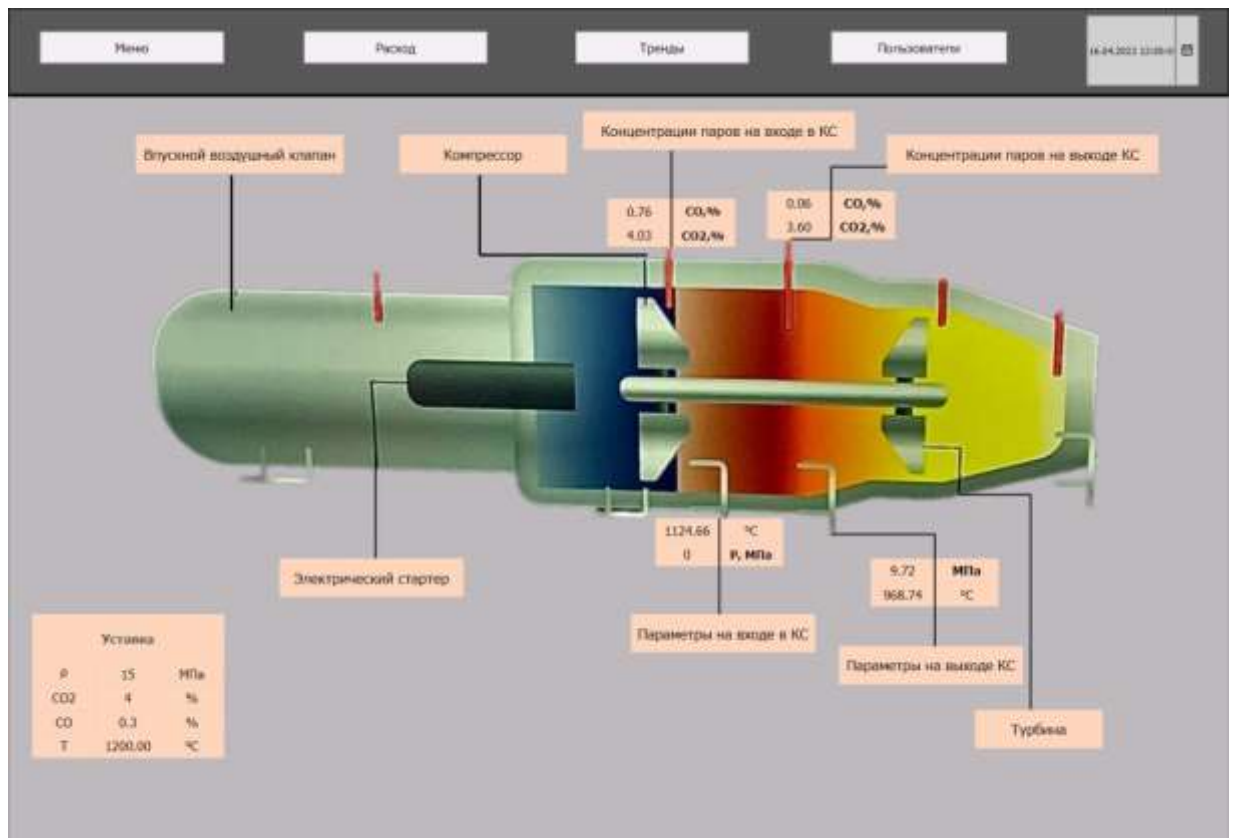


Рисунок 11 – Главный вид мнемосхемы

С главного вида с помощью кнопки «Расход» осуществляется переход на контроль расхода. На данном этапе схематично изображается КС, насос, качающий топливо, компрессор для подачи в камеру сгорания воздуха. Над регулируемыми клапанами показан процент их открытия. Отслеживание расхода приведено на рисунке 12.

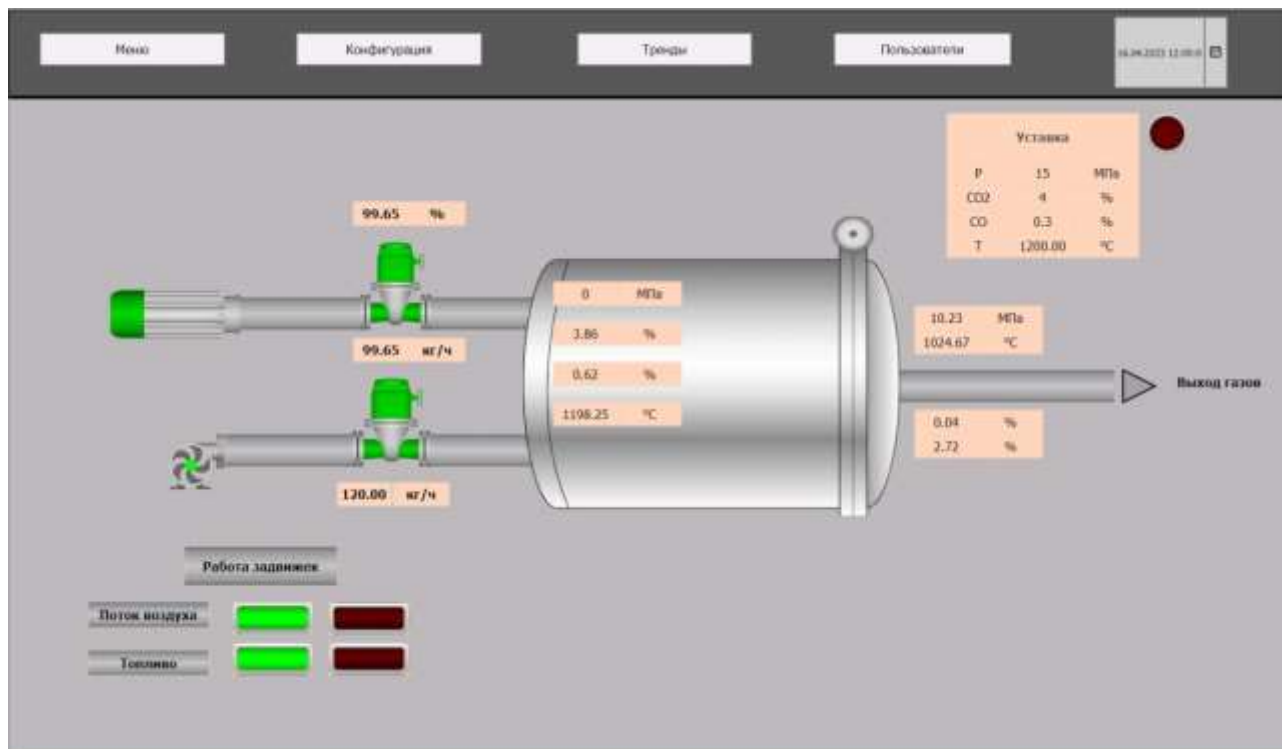


Рисунок 12 – Отслеживание и контроль расхода

Третье окно отведено для иллюстрации трендов. Поскольку для связи полевых датчиков и контроллера в MasterSCADA необходим протокол, то для расчета параметров использовались зависимости параметров из литературы, которые программировались в программном языке ST.

При разработке данной мнемосхемы предусмотрена «Авария» при достижении повышенных/ пониженных концентраций паров топлива или же давления с температурой. При срабатывании «аварии» загорается красная лампочка.

Для разработки полученной 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	Черкасову Роману Евгеньевичу

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	Черкасов Роман Евгеньевич		

14. 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.

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

14.1.1 Анализ конкурентоспособности технических решений

Сравнение будет производиться по двум конкурирующим топливам:

- 1) Авиационный керосин + вода
- 2) керосин

Таблица 23 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{БИО}	Б _{К+В}	Б _{КЕР}	К _{БИО}	К _{К+В}	К _{КЕР}
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 23.

1	2	3	4	5	6	7	8
Экологичность	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Возможность применения технологии на производстве	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Удобство эксплуатации	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Актуальность исследования	0,15	5	5	3	0,75	0,75	0,45
Качество регулирования	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Эффективность применения	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Итого	1	43	40	37	4,45	4,1	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:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i,$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы); Б_i – балл -го показателя.

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

$$\begin{aligned} K_{\text{К+В}} &= \sum B_i \cdot \text{Б}_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 \\ &\quad + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 4,1, \end{aligned}$$

$$K_{\text{КЕР}} = \sum B_i \cdot B_i$$

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

14.1.2 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 24 приведена итоговая матрица SWOT.

Таблица 24 – Матрица SWOT анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Экологичность установки.</p> <p>С2. Большой срок эксплуатации при внедрении топлива</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими видами топлива</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 сниженная стоимость по отношению к керосину приведут к повышенному спросу.</p> <p>2. Поскольку биотопливо более экологично и дешевле по отношению к керосину, то это приведет к упрощенному выходу на отечественный рынок.</p>	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <p>1. Повышение спроса на установку/топливо приведет к повышению потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>2. Новизна технологии может вызвать интерес у организаций, что может привести к внедрению биотоплива на отечественный рынок</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на топливо</p> <p>У2. Использование традиционного керосина может помешать внедрению биотоплива</p> <p>У3. Повышение стоимости топлива</p>	<p>Сильные стороны и угрозы:</p> <p>1. Экологичность и стоимость топлива будут увеличивать спрос на товар.</p> <p>2. Повышение стоимости на топливо приведет к удорожанию установки.</p> <p>3. Ужесточение норм выбросов могут ограничить возможность использования керосина в двигателях</p>	<p>Слабые стороны и угрозы:</p> <p>1. Высокая стоимость приведет к отсутствию спроса на топливо.</p> <p>2. Новизна технологии может вызвать трудности по внедрению топлива</p>

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

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

14.2 Планирование научно-исследовательских работ

14.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

При реализации проекта необходимо планировать занятость каждого из участников и сроки проведения работ. В таблице 3 представлены основные этапы научно – исследовательской работы, ее содержание и должность исполнителя.

Таблица 25 – 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	Изучение биотоплива на основе литературных источников	Инженер
	5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик суррогатов керосина	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 схему, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСУ.	Инженер
	9	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инженер
	10	Внесение исправлений в чертежи и доработка описания к ним.	Инженер
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	Инженер

14.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

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

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

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

$t_{\text{max}i}$ – 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:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

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 26 укажем перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 26 – 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}	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	НР	1,4	-	2	-
Поиск и изучение литературы по выбранной теме	4	7	5,2	Инж.	-	5	-	10
Календарное планирование работ	1	2	1,4	НР	1,4	-	2	-
Изучение биотоплива на основе литературных источников	2	5	3,2	Инж.	-	3	-	6
Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик суррогатов керосина	9	18	12,5	Инж.	-	12,5	-	25
Обработка полученных данных	8	12	9,6	НР, инж.	4,8	4,8	7	7
Оценка эффективности результатов	4	6	4,5	НР	4,5	-	9	-
Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСУ	13	18	15	Инж.	-	15	-	30

Продолжение таблицы 26

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}		Длительность работ в кал. днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	6	9	7	Инж.	-	7	-	14
Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	4	9	6	Инж.	-	6	-	12
Составление пояснительной записки	3	6	4,2	Инж.	-	4,2	-	9
Итого	55	94	70	-	12,1	57,5	20	113

Таблица 27 - График Гранта

№	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	10	■	■										
3	Календарное планирование работ	НР	2		■										
4	Изучение биотоплива на основе литературных источников	Инж	6		■	■									
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик суррогатов керосина	Инж	25			■	■	■							
6	Обработка полученных данных	НР, инж	7					■	■						
7	Оценка эффективности результатов	НР	9						■	■					
8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСУ.	Инж	30							■	■	■			
9	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним.	Инж	14										■	■	

Продолжение таблицы 27

№	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	12													
11	Составление пояснительной записки	Инж	9													

■ -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.

14.3 Бюджет научно-технического исследования

14.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов.

Таблица 28 – Материальные затраты

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Биотопливо	л	5	250	1250
Итого				1250

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

Необходимым оборудованием для проведения работ в рамках исследования является авиационный двигатель: JetCat P-250, датчик температуры, датчик давления, газоанализатор. Вышеперечисленное оборудование будет учитывать величину 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 авиационного двигателя:

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

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 газоанализатора:

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

Амортизация оборудования:

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

где И – итоговая сумма, тыс. руб.; t время использования, мес.

Амортизация для авиационного двигателя:

$$A = \frac{0,05 \cdot 550000}{12} \cdot 0,65 = 1489 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика температуры:

$$A = \frac{0,2 \cdot 15000}{12} \cdot 0,65 = 163 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика давления:

$$A = \frac{0,1 \cdot 16000}{12} \cdot 0,65 = 87 \text{ руб.}$$

Амортизация для газоанализатора:

$$A = \frac{0,2 \cdot 100000}{12} \cdot 0,65 = 1083 \text{ руб.}$$

Таблица 29 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Количество	Срок полезного использования	Цена оборудования, тыс. руб.	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Амортизация
1	Авиационный двигатель JetCat P-250	1	20	550000	0,65	0,05	1489
2	Датчик температуры	2	5	15000	0,65	0,2	163
3	Датчик давления	2	10	16000	0,65	0,1	87
4	Газоанализатор	2	5	100000	0,65	0,2	1083
Итого:							2822 руб.

14.3.3 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:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 3279,9 \cdot 12,1 = 39686,8 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1638 \cdot 57,5 = 94185 \text{ руб.}$$

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 30 – 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):

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

Среднедневная заработная плата инженера (5-дневная неделя):

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

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:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ руб.}$$

Таблица 31 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3279,9	12,1	39686,8
Инж	16200	0,3	0,2	1,3	31590	1638	57,5	94185
Итого $Z_{осн}$								133871,8

14.3.4 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 39686,8 = 4762,42.$$

Доп. заработная плата инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 94185 = 11302,2.$$

14.3.5 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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (39686,8 + 4762,42) = 13334,77 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (94185 + 11302,2) = 31646,16 \text{ руб.}$$

14.3.6 Накладные расходы

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

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

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

Таблица 32 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	1250
Затраты на оборудование	2822
Затраты на основную заработную плату	133871,8
Затраты на дополнительную заработную плату	16064,62
Отчисления во внебюджетные фонды	44980,93
Накладные расходы:	198989,35

14.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 33 – Бюджет затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты	1250	1500	1700	Пункт 1.3.1
Затраты на оборудование	2822	3000	2822	Пункт 1.3.2
Затраты на основную заработную плату	133871,8	145921,3	150319,2	Пункт 1.3.3
Затраты на дополнительную заработную плату	16064,62	17921,7	19921,2	Пункт 1.3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	44980,93	46021,81	48391,7	Пункт 1.3.5
Накладные расходы	198989,35	201951,3	205913,6	Пункт 1.3.6
Бюджет затрат НИР	397978,7	416316,11	429067,7	Сумма ст. 1–6

15 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.

$$\Phi_{p1} = 397978,7 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 416316,11 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p3} = 429067,7 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{397978,7}{429067,7} = 0,927,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{416316,11}{429067,7} = 0,97,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{429067,7}{429067,7} = 1.$$

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

n – число параметров сравнения.

В таблице 34 приведена сравнительная характеристика трех конкурирующих топлив: биотопливо, керосин + вода, керосин.

Таблица 34 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
Возможность применения технологии на производстве	0,2	4	4	4
Удобство эксплуатации	0,1	4	3	4
Надежность	0,15	4	4	4
Динамическая точность	0,2	5	4	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	3,95	4,05

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

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 3,95,$$

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p\text{-исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,5}{0,927} = 4,85,$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p\text{-исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{3,95}{0,97} = 4,07,$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{p\text{-исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Сравнительная эффективность проекта запишем в общую таблицу.

Таблица 35 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,927	0,97	1
2	Интегральный ресурсоэффективности показатель	4,5	3,95	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	4,85	4,07	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,84	0,835

Наиболее эффективным является наш вариант исследования.

16 Выводы по разделу

В данном разделе:

- 1) проведен анализ конкурирующих топлив, 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 397978,7руб.;
- 7) Рассчитана оценка эффективности НИ. Интегральный показатель финансовой эффективности равен 0,927, интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,5, интегральный показатель эффективности равен 4,85. 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 Черкасов Роман Евгеньевич	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н.Бутакова
Уровень образова ния	Бакалавриат	Направлен ие/ специально сть	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСУ теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных 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:</i> турбовальный двигатель <i>Область применения:</i> силовые установки вертолетов <i>Рабочая зона:</i> лаборатория <i>Размеры помещения:</i> 10*5 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> реактивный двигатель, регулятор, широтно-импульсная модуляция (ШИМ). <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров в камере сгорания реактивного двигателя, исправность работы двигателя.</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: 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; ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования. Трудовой кодекс РФ</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных 	<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;

факторов	<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 – нагрев двигателя;</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: беруши, наушники, специализированная одежда.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации:</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: реактивный двигатель не оказывает влияние на селитебную зону;</p> <p>Воздействие на литосферу: повреждение и загрязнение почвенного покрова</p> <p>Воздействие на гидросферу: реактивный двигатель не оказывает влияние на гидросферу;</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы газов, содержащих в себе CO₂, NO_x, CO, при работе оборудования.</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;
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

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	Черкасов Роман Евгеньевич		

17 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа посвящена анализу теплообмена в камере сгорания авиационного двигателя.

Влияние производства и общества на природу к настоящему времени достигло огромных масштабов. Современная инфраструктура затрагивает самые важные аспекты для человека, такие как атмосфера, литосфера. В проделанной работе рассматривается производство биотоплива из растительных масел для замены керосина в ходе эксплуатации авиадвигателя. Важно отметить, что с использованием биотоплива снижение выбросов CO и CO₂ достигается в 3 раза. Оптимальная концентрация выбросов происходит за счет регулирования воздуха.

Поскольку защита экологии в современном мире занимает одну из лидирующих строк, то проблема минимизации выбросов является актуальной и требующей решения на протяжении многих лет.

Объектом исследования является турбовальный двигатель. Рабочим местом оператора автоматизированной системы управления (АСУ) значится помещение с габаритными размерами 10*5 м. Основным оборудованием, используемым при эксплуатации, являются регулятор, ШИМ, выполняющие функции управления. Основными процессами, осуществляющимися в рабочей зоне, дистанционный контроль параметров и исправности работы реактивного двигателя.

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

17.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основным документом, регламентирующим права и обязанности работника и работодателя, является Трудовой кодекс РФ [19]. В нем содержатся такие аспекты, как вопросы охраны труда, профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации, трудоустройства, социального партнерства. Также закреплены правила оплаты и нормирования труда, порядок разрешения трудовых споров. На работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия средства индивидуальной защиты в соответствии с типовыми нормами, утвержденными в порядке, установленном Правительством Российской Федерации. [19]

Так как работа с двигателем подразумевает возможное наличие угроз жизни и здоровья (таких как работа, в запыленном помещении, работа при повышенном шуме) следует обеспечить работника всеми необходимыми мерами защиты – берушами или наушниками для защиты органа слуха от шума; очками, для исключения попадания инородных тел в глаза и область глаз; спец. одеждой, как мерой индивидуальной защиты работника и другими средствами защиты в зависимости от выполняемой человеком работы.

В данной работе предполагается 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” необходимо, чтобы выполнение трудовых операций не представляло трудностей [20]. Также 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.

Кроме того кресло оператора АСУ также должно быть выполнено согласно требуемых норм. Данные требования внесены в ГОСТ 21889-76. Основные эргономические требования к креслу человека-оператора:

конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений;

- кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности;
- кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении с сохранением естественных изгибов позвоночника;
- 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” [21]. Взаимное расположение элементов рабочего места”. Важно, чтобы взаимное расположение используемого оборудования не препятствовало трудовому процессу оператора.

17.2 Производственная безопасность

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях

труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

Во время выполнения работ могут возникнуть опасные и вредные факторы, которые закреплены в ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». В таблице 36 представлены основные факторы, влияющие на работу оператора АСУ.

Таблица 36 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АСУ [22]

Факторы	Нормативные документы
Повышенный уровень шума на рабочем месте	СНиП 23-03-2003. Защита от шума. Актуализированная редакция [23]
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [24]
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, вызывающие ожоги ткани	ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [25]
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 [26]

Продолжение таблицы 36

<p>Длительное наблюдение</p> <p>сосредоточенное</p>	<p>СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [27]</p>
<p>Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</p>	<p>ГОСТ 12.1.005-88 ПДК « Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [28]</p> <p>ГОСТ Р 55175-2012 «Методы контроля запыленности». [29]</p>

17.2.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Источником шума в рассматриваемой системе является двигатель Согласно СНиП 23-03-2003. Защита от шума. Актуализированная редакция [23] повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. Поэтому важно соблюдать некоторые меры для обеспечения безопасности от воздействия шума. Работник должен следовать установленным работодателем правилам безопасности ведения работ и применения средств индивидуальной защиты от шума. Со стороны работодателя должны быть сделаны следующие меры: использование малошумных машин; оптимальное размещение шумных машин,

позволяющее минимизировать воздействие шума на рабочем месте; контроль правильности использования средств индивидуальной защиты от шума; вовлечение к работам лиц, не имеющих медицинских противопоказаний по шуму, и обеспечение прохождения ими регулярных медицинских обследований с применением средств аудиометрии.

В таблице 37 приведены предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления.

Таблица 37 - Уровни звукового давления [23]

Наименование помещений или территорий	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука L_A , дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещения для измерительных и аналитических работ	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами	107	95	87	82	78	75	73	71	69	95

17.2.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

При выполнении работ важен критерий освещения. Недостаточный уровень освещенности вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или напряженности. В то время как достаточная освещенность может тонизировать или способствовать расслаблению. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит не только к зрительному утомлению, но и снижению эффективности работы. Кроме зрительного комфорта свет оказывает на человека психологическое и физиологическое воздействие.

Нормы искусственного освещения представлены в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [24]. Нормы искусственного освещения приведены в таблице 38. 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 38 – Нормативные показатели освещения производственного помещения [24]

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

17.2.3 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих 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.

Поэтому необходимо с осторожностью взаимодействовать с вышеперечисленными предметами. Также при выборе оборудования важно понимать, какому классу пожаробезопасности принадлежит выполняемый тип работ. Правила обращения с высоконагретыми материалами представлены в ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [25].

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

При проведении производственных обязанностей оператор АСУ работает с электрическими объектами, такими как компьютер, аккумулятор, электрические кабели от средств автоматизации. Вышеперечисленное оборудование в работе имеет ток 4-20 мА и напряжение 220В или 24В. При выполнении работ с данным оборудованием необходимо придерживаться правил, прописанных в ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [26].

При выполнении производственных работ оператор АСУ подвергается воздействию электрического тока, поскольку взаимодействует с компьютером, электрическими кабелями от различных средств автоматизации. При работе может произойти поражение током, что ведет к

появлению ожогов, механическим повреждениям ткани, раздражающим воздействиям на ткани. Важно понимать, что при прикосновении человека с токоведущими частями может произойти поражение электрическим током. В зависимости от рода тока существуют нормированные значения напряжений прикосновения и токов, приведенные в таблице 39.

Таблица 39 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [26]

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

17.2.5 Длительное сосредоточенное наблюдение

Технологический процесс по отслеживанию концентраций в камере сгорания является не только непрерывным, но и имеет свойство быстро изменяться за счет различных возмущений, поэтому оператору необходимо отслеживать различные изменения в системе и быстро принимать решения по устранению неполадок. Не соблюдение норм при длительном сосредоточенном наблюдении может привести к ухудшению работоспособности органов зрения, перенагрузки нервной системы. Нормы, описывающие 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" [27].

17.2.6 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Процесс работы реактивного двигателя сопровождается потоком воздуха, который сопровождается пылевыведением. Пыль опасна для дыхательных путей и всего организма в целом. Действие пыли на кожный покров сводится в основном к механическому раздражению. Вследствие такого раздражения возникает небольшой зуд, неприятное ощущение, а при расчесах может появиться покраснение и некоторая припухлость кожного покрова, что свидетельствует о воспалительном процессе. Пыль, попавшая в глаза, вызывает воспалительный процесс их слизистых оболочек - конъюнктивит, который выражается в покраснении, слезотечении, иногда припухлости. Действие пыли на верхние дыхательные пути сводится к их раздражению, а при длительном воздействии - к воспалению. Для оценки опасности пыли определяют содержание диоксида кремния (SiO_2). Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ПДК [28] SiO_2 при содержании пыли от 10 до 70% должна составлять не более 2 мг/м^3 , если содержание пыли больше 70%, то ПДК должна составлять не более 1 мг/м^3 . Мероприятия по обеспечению безопасности труда при пылевыведении прописаны в ГОСТ Р 55175-2012 «Методы контроля запыленности» [29].

При эксплуатации турбовального двигателя выделяются вредные вещества такие как оксид азота (NO), оксид углерода (CO). Оксид углерода – одно из наиболее опасных веществ. Вдыхая угарный газ, человек запускает в своём организме необратимый механизм: поступая через лёгкие, оксид углерода попадает в кровь и вступает в реакцию с гемоглобином. Результат такого эффекта на организм может быть трагическим: кровоизлияние в мозг, удушье, нарушение работы клеток мозга и нервных окончаний, а также может вызвать летальный исход специалиста на рабочем месте. Поэтому важно контролировать содержание угарного газа. В ГОСТ 12.1.005-88

прописаны (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Так при длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч, предельно допустимая концентрация оксида углерода может составлять до 50 мг/куб. м, при длительности работы не более 30 мин. – до 100 мг/куб. м, при длительности работы не более 15 мин. - 200 мг/куб. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ПДК оксида азота (NO) составляет 5 мг/куб.м. NO токсичен, выделение данного газа способствует раздражению глаз и кожи. При вдыхании вызывает отравление.

17.3 Экологическая безопасность

При работе реактивного двигателя происходят выбросы вредных веществ в окружающую среду. Из-за сжигания керосина происходит выброс газов, состоящих из CO₂, NO_x, CO. Выбросы данных газов можно снизить путем перехода от традиционного топлива к биотопливу. Данный вид топлива за счет своего состава понижает вредные выбросы. Количество выбросов и свойства топлива прописаны в ГОСТ 32595-2013 «Топливо авиационное для газотурбинных двигателей JET A-1» [30].

Содержание токсичных составляющих в продуктах сгорания существенно зависит от режима работы двигателя. Так на пониженных режимах характерны высокие концентрации угарного газа и углеводородов. При нехватке воздуха могут выделяться твердые частицы, которые осаждаются на поверхность земли и загрязняют почву. Для предотвращения таких ситуаций в камере сгорания установлены завихрители для полноценного сгорания топлива.

17.4. Безопасность в ЧС

При эксплуатации авиадвигателя возможно возникновение чрезвычайных ситуаций. Самые распространённые ЧС – возгорание керосина, взрыв. Техногенные аварии могут возникнуть в случае неправильного обращения с оборудованием. Данные ситуации исключаются проведением внеплановых инструктажей.

Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются взрыв или пожар в лаборатории при несоблюдении предписанных норм пожарной безопасности или же вследствие короткого замыкания или проблем с токопроводящим оборудованием.

Для того чтобы не допустить возникновения пожара, следует выполнять правила и требования пожарной безопасности согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [31]:

- применение средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- применение средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара;
- в доступном месте должны висеть инструкции по действиям при пожаре с указанием последовательности действий, а также планов эвакуации с телефонами спец. служб, куда стоит сообщить о возникновении чрезвычайной ситуации.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» пожар относится к классу В, пожары горючих жидкостей и к классу С, горение газов. В таблице 40 представлены средства пожаротушения.

Таблица 40 – Нормы оснащение помещения огнетушителями [31]

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

17.5 Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, экологическая безопасность, безопасность при ЧС. Значимость данного раздела заключается в знании и соблюдении норм и правил, соблюдая которые эксплуатация авиадвигателя не будет подвергать опасности окружающую среду и людей.

Раздел «Социальная ответственность» направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий и их минимизация, 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, 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) данная лаборатория относится к 1 категории по электробезопасности [33].

Тяжесть труда согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится ко 2б категории [34].

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система управления теплообмена суррогатных топлив в газотурбинных двигателях. Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень включает датчики измерения температуры, расхода, давления и концентрации, 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 определение схожего по теплофизическим свойствам суррогата с керосином. В наибольшем согласии находятся керосин и SU4. Таким образом, в дальнейших исследованиях биотоплив для моделирования керосина можно использовать SU4.

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: $K_p = 0,0027$; $T_n = 50,84$. 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. Величко А. А., Иванов И. А. Внедрение биотоплива в агропромышленный комплекс //Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. – 2015. – С. 617-620.
2. Кузнецов Г.В., Стрижак П.А.. Письма в журнал технической физики, 40 (12), 11 (2014)
3. ZHENG D., YU W. M., ZHONG B. J. RP-3 aviation kerosene surrogate fuel and the chemical reaction kinetic model //Acta Physico-Chimica Sinica. – 2015. – Т. 31. – №. 4. – С. 636-642.
4. Углов Б. А. Эксплуатационные свойства реактивных топлив и надежность авиационных силовых установок, (1986), с. 68
5. D. V. Antonov, R.M. Fedorenko, P.A. Strizhak, Z. Nissar, S.S Sazhin, Combustion and Flame,233,11599 (2021) 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111599>
6. Банас И. П. . Деформационно-дисперсионное упрочнение коррозионностойкой стали //Вестник евразийской науки. – 2014. – №. 6 (25). – С. 175.
7. Классификация авиационных двигателей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: 1-2-Gazoturbinnuje – Загл. с экрана.
8. Двигатель РД – 600. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/engines/rd600.html> – Загл. с экрана.
9. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования. - 2 изд. - Томск: Томский политехнический университет, 2011. - 108 с
10. Датчики температуры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pea.ru/docs/fileadmin/files/emerson/datch_temp/Metran-281_Metran-286_Metran-288.pdf. – Загл. с экрана.
11. Датчик давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.made-in-china.com/co_hlhsensor/product_Ultra-High-Pressure-

- Transducer-PT750-_ehurshsyg.html?ysclid=li4ccggbbox266355194. – Загл. с экрана
- 12.Расходомер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ЭМИС МАСС 260 купить Массовые кориолисовые расходомеры российского производства (emis-kip.ru). Загл. с экрана.
- 13.Газоанализатор. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: АНКАТ-410 газоанализатор стационарный (gazoanalizators.ru) . – Загл. с экрана
- 14.Электропривод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Многооборотные электроприводы ГЗ (proarma.ru) . – Загл. с экрана
- 15.ПЛК Элси ТМК и модули к контроллеру. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК, Серийная, Продукция, Компания ЭлеСи: промышленная автоматизация технологических процессов (elesy.ru) . – Загл. с экрана
- 16.Острижный А. С., ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЁТКОГО ПИ-РЕГУЛЯТОРА СРЕДСТВАМИ MATLAB SIMULINK // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. – 2016. – №. 1. – С. 115-117
- 17.Бункин П.Я., Типовые регуляторы систем управления //Дальневосточный федеральный университет. – 2013.
- 18.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.
- 19.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.

- 20.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.
- 21.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.
- 22.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.
- 23.СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – Введ. 2004-01-01.
- 24.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.
- 25.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.
- 26.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.

- 27.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.
- 28.ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ.** Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс].- Режим доступа: "ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны"(утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.09.1988 N 3388) (eikan.ru).
- 29. ТЕХЭКСПЕРТ.** ГОСТ Р 55175-2012 Методы контроля запыленности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200096585?ysclid=lh80wpm9na355254098>, свободный. – Загл. с экрана.
- 30.ТЕХЭСКПЕРТ.** ГОСТ 32595-2013 Межгосударственный стандарт «Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Jet A-1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ГОСТ 32595-2013 Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (JET А-1). Технические условия (с Поправкой) - docs.cntd.ru. Загл. с экрана
- 31.ТЕХЭКСПЕРТ.** ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9051953>, свободный. – Загл. с экрана
- 32. СП (своды правил) 2.13130.2009.** Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. – Режим доступа: <http://28.mchs.gov.ru/document/596152/> Загл. с экрана

- 33.ТЕХЭКСПЕРТ.** 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.
- 34.ТЕХЭКСПЕРТ.** СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений,
зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной
опасности (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим
доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156>, свободный. – Загл. с
экрана.