

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

НОЦ И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка автоматизированной системы управления процессом измельчения капель топливных эмульсии при интенсивном нагреве

УДК 681.51:662.75-911.48:66.022-046.46

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Гавриленко Алексей Юрьевич		01.02.18г.

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Пискунов Максим Владимирович	канд. физ.-мат. наук		01.02.18г.

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения социально- гуманитарных наук	Кузьмина Наталия Геннадьевна			23.04.18г.

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		23.04.18

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		01.02.18

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
Р8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
Р10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, и <i>современных</i> методов.

P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

НОЦ И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля ООП

Стрижак П. А.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Гавриленко Алексею Юрьевичу

Тема работы:

Разработка автоматизированной системы управления процессом измельчения капель топливных эмульсии при интенсивном нагреве	
Утверждена приказом директора №	571/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом проектирования является водогрейный котельный агрегат Danvex В60 мощностью 62,6 кВт. Основное топливо – эмульсия типа «вода в дизеле», приготовленная на основе смешивания таких компонентов, как вода, дизельное топливо и поверхностно-активное вещество. При разработке системы управления процессом сжигания топлива предусмотреть использование современных микропроцессорных технических средств автоматизации для реализации функций автоматического контроля параметров и управления системы топливоподачи.
--------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Исследовательские изыскания. 2 Проектирование САУ топливоподачи. 3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего уровня и полевого. 4 Разработка щита управления САУ топливоподачи. 5 Расчет параметров настройки регулятора. 6. Мнемосхема проекта. 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая щита управления. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2018
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Пискунов Максим Владимирович	канд. физ.-мат. наук		01.02.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Гавриленко Алексей Юрьевич		01.02.18

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 120 с., 25 рис., 38 табл., 74 источников.

Ключевые слова: эмульсия типа «вода в дизеле», микровзрыв, «паффинг» (от англ. «puffing»), система топливоподачи, автоматизированная система управления, микропроцессорные технические средства автоматизации, теплоэнергетика, проектирование, теплотехника.

Объектом автоматизации является система топливоподачи котла Danvex В60.

Цель работы – модернизация АСУ ТП топливоподачи котла типа Danvex В60 на основе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы АСУ ТП топливоподачи, разработка функциональной схемы, разработка принципиальной электрической схем и общего вида щита управления, выбор приборов и технических средств автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

В результате исследования разработана автоматизированная система управления топливоподачи водогрейного котла на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Основным преимуществом разработанной АСУ ТП является наличие программно-оперативного комплекса на базе SCADA-системы, который осуществляет разделение функций между автоматической системой и оперативным персоналом для повышения качества регулирования и быстродействия системы, а также позволяет вовремя отреагировать на любую сложную ситуацию в процессе эксплуатации системы.

Обозначения и сокращения

АСУ – автоматизированная система управления;

ГЛБ – гидрофильно-липофильный баланс;

ПАВ – поверхностно активное вещество;

МПК – микропроцессорный контроллер;

ПК – персональный компьютер;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

ЕСКД – единая система конструкторской документации.

Оглавление

Введение	11
1 Исследовательские изыскания	14
1.1 Материалы	14
1.2 Двухкомпонентные капли	14
1.3 Водно-дизельные эмульсии	15
1.4 Экспериментальная методика регистрации последствий распада капель.....	17
1.5 Результаты и обсуждение	22
1.6 Заключение.....	34
2 Проектирование АСУ топливоподачи	36
2.1 Анализ объекта автоматизации	36
2.1 Перечень технических требований к системе	38
2.2 Выбор структуры автоматизированной системы регулирования топливоподачи	39
2.3 Разработка функциональной схемы АСУ топливоподачи.....	39
2.4 Выбор технических средств АСУ топливоподачи	42
2.4.1 Выбор датчиков температуры	43
2.4.2 Выбор регулирующего устройства	46
2.4.3 Выбор технических средств измерения расхода топлива.....	49
2.4.4 Выбор исполнительного механизма.....	55
2.4.5 Выбор блока управления исполнительным механизмом.....	58
2.4.6 Выбор технических средств ручного управления	59
2.4.7 Выбор дополнительного оборудования	60
3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего уровня и полевого	63
4 Разработка щита управления АСУ топливоподачи	65
4.1 Проектирование принципиальной схемы АСУ топливоподачи.....	65
4.2 Проектирование монтажной схемы АСУ топливоподачи.....	67
4.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСУ	72
5 Расчет параметров настройки регулятора	74
5.1 Идентификация объекта управления	74
5.2 Расчет параметров настройки регулятора	77

6 Мнемосхема проекта.....	84
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	88
7.1 Планирование работ и оценка времени выполнения	88
7.2 Смета затрат на проект	90
7.2.1 Материальные затраты.....	90
7.2.2 Затраты на амортизацию.....	90
7.2.3 Затраты на заработную плату	91
7.2.4 Затраты на социальные нужды.....	92
7.2.5 Прочие затраты.....	92
7.2.6 Накладные расходы.....	93
7.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	93
7.4 Определение экономической эффективности проекта	95
8 Социальная ответственность	99
8.1 Производственная безопасность	100
8.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	100
8.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве.....	101
8.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов	101
8.2 Экологическая безопасность	102
8.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду	103
8.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду	103
8.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	104
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
8.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	105
8.3.2 Действия при возникновении пожара.	105
8.3.3 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве	107
8.3.4 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	107

8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	108
8.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	108
8.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	108
8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	109
Заключение.....	111
Список использованных источников	112
Графический материал:	На отдельных листах

ФЮРА.421000.005 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.005 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.005 С03	Спецификация приборов и средств автоматизации
ФЮРА.421000.005 Э4	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.005 С5	Схема монтажная
ФЮРА.421000.005 ВО	Общий вид щита

Введение

Зачастую разработчики топливных технологий сосредотачивают свое внимание на решении данной группы проблем [1]. Кроме того проводятся исследования для создания технологий, которые способствуют минимизации расхода топлива, повышению динамики, снижению антропогенных выбросов при сжигании топлива, повышению степени его выгорания, улучшению качества и в тоже время удешевлению процесса подготовки топлива.

Касаясь топливных технологий, рациональным способом решения проблемы, о которой говорится выше, может стать измельчение капель топлив до уровня десятков и сотен микрон. Как показали эксперименты [5–7], такие мелкие капли могут налипнуть на стенки камеры сгорания вследствие высоких скоростей движения разогретых газов. В таком случае целесообразно измельчение капель в самой камере сгорания. В этом направлении предпринимаются попытки разработки соответствующих технологий учеными со всего мира. Наиболее привлекательным представляется достижение условий взрывного вскипания капель и их распада с образованием топливного аэрозоля.

На данный момент пока можно выделить лишь экспериментальные исследования (например, [8–15]) условий и характеристик взрывного вскипания капель жидкостей, эмульсий, их последующего распада с образованием аэрозоля. Исследователи из Японии одни из первых заметили разбрызгивание вскипающих капель топлив [8–10]. Ими было выявлено, что определяющую роль могут играть как межмолекулярные взаимодействия, а также количество и концентрации формирующихся пузырьков паров в каплях. В [8–10] установлено, что для достижения взрывного вскипания капель, насыщенных газами CO_2 , требуется меньший перегрев и меньшее время нагрева. Эти результаты позволяют объяснить причины более интенсивного прогрева и вскипания капель водных эмульсий. В [8–10] основные условия взрывного распада капель эмульсий – высокая концентрация нефтепродукта и высокие значения температуры. Именно в таких условиях роль испарения CO_2 значительна в соответствии с заключениями [8–10]. Поэтому процессы

вскипания и дробления капель водных эмульсий реализовывались за малые интервалы времени нагрева и завершались формированием большого аэрозольного облака с характерным запахом CO_2 .

Широкую известность получили статьи, в которых исследовалось сжигание топливных аэрозолей в камерах сгорания двигателей и котлов [11, 12]. Дробление топливных струй и пленок в авиационных и автомобильных двигателях с помощью потока окислителя было исследовано группой авторов [13]. Эффекты самопроизвольного дробления неоднородных топливных капель был рассмотрен в работах [14, 15]. В данных работах исследованы лишь водные эмульсии, и методика исследования проводилась лишь при использовании инфракрасной съемки. Также было показано изменение площади поверхности испарения с учетом образующихся фрагментов и уменьшение суммарной длительности фазового перехода.

Механизм реализации процессов измельчения капель изучен не в полной мере. Необходимо использовать комбинированные схемы измерений с применением контактных и бесконтактных способов регистрации температурных градиентов.

В [18–21] экспериментально выделены характерные стадии парообразования неоднородной капли, которые включают испарение с ее свободной поверхности, пузырьковое кипение на внутренних границах раздела сред, рост пузырьков и увеличение размеров капли с уменьшением толщины пленки жидкости вокруг включения, взрывной распад капли (отделение мелких капель с пузырьками пара и воздуха).

Результатом данной работы будет разработка автоматизированной системы измельчения капель топливной эмульсии при интенсивном нагреве, а также экспериментальное определение отличий условий и характеристик эффектов взрывного измельчения нагреваемых двухкомпонентных капель и капель эмульсий типа «вода в дизеле».

Разработка автоматизированной системы регулирования позволит решить ряд задач:

- сбор, хранение, обработку и передачу информации о протекании технологического процесса и состоянии технологического оборудования;

- автоматический контроль параметров, обеспечивающих штатный режим функционирования в соответствии с утвержденным регламентом работы.

При разработке АСУ расхода топливной эмульсии выполняются следующие этапы:

- анализ объекта автоматизации,
- выбор структуры автоматизированной системы регулирования,
- разработка функциональной схемы АСУ,
- выбор технических средств АСУ и составление заказной спецификации,
- разработка принципиальной электрической схемы,
- разработка монтажной схемы АСУ,
- разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСУ.

1 Исследовательские изыскания

1.1 Материалы

Для стабилизации обратных эмульсий типа «вода в дизеле» использовался неионогенный эмульгатор моноэтаноламида жирных кислот, имеющий число ГЛБ (гидрофильно-липофильный баланс) 2. Моноэтаноламида жирных кислот представляют собой продукты конденсации жирных кислот таллового масла с моноэтаноламином и относятся к группе алкилоламидов. Данный стабилизатор был получен с использованием методики [32]. Использование разработанного неионогенного эмульгатора обусловлено обеспечением большей стабильности подготовленных эмульсий типа «вода в дизеле» [33] при сравнении с эмульсиями, стабилизированными коммерческими аналогами, например, SPAN-80 и TWEEN 85 [34].

При идентичных условиях эксперименты выполнялись с двухкомпонентными каплями и с специально приготовленными эмульсиями типа «вода в дизеле» с добавлением ПАВ. Ниже прокомментированы отличия структуры и состава капель в этих случаях.

1.2 Двухкомпонентные капли

Методика получения двухкомпонентных капель подробно описана в опытах [20]. В экспериментах [20] использовались две схемы получения двухкомпонентных капель. В первой, капля воды подвешивалась на держатель. Использовался электронный дозатор Finnpiette Novus (шаг варьирования генерируемого объема 0,1 мкл). Далее на каплю воды при помощи второго дозатора помещалась капля горючего. Высокоскоростная видеорегистрация показала, что горючая примесь, как правило, обволакивала каплю воды, создавая на ее поверхности пленку толщиной 0,05–0,5 мм. Как правило вода располагалась в верхней части капли, контактируя с держателем, а горючая примесь концентрировалась в нижней части. Во второй схеме, все происходило наоборот, на держатель помещалась капля горючей или

легковоспламеняющейся жидкости, затем – воды. В данной схеме горючая примесь концентрировалась в верхней части капли, а вода – в нижней. В настоящей работе выбрана первая схема регистрации. В качестве держателя капле применялся полый металлический стержень с внутренним и внешним диаметром 0,3 мм и 0,6 мм, соответственно. Материал, из которого выполнен держатель – сталь X6CrNiMoTi 17-12-2.

На рисунке 1 показана условная схема получения двухкомпонентной капли. Начальный объем двухкомпонентной капли в экспериментах изменялся в диапазоне от 10 до 25 мкл, что соответствует диапазону изменения радиуса от 1,3 до 1,8 мм. Получение двухкомпонентных капель меньшего размера, было ограничено минимальным дозируемым объемом, не менее 5 мкл.

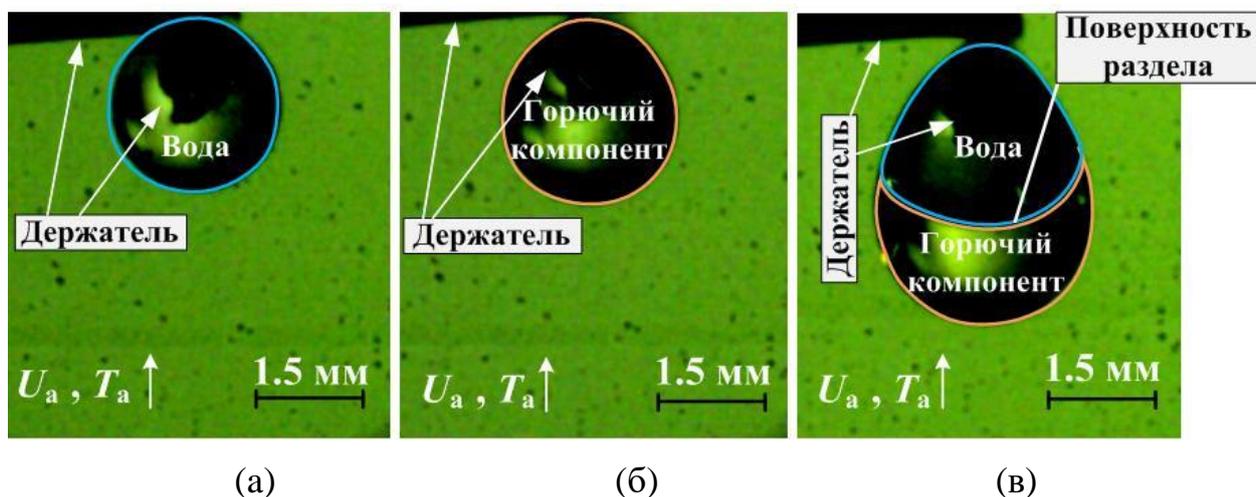


Рисунок 1 – Внешний вид исходных капель: (а) – воды; (б) – горючего компонента; (в) – границы раздела, типичной для двухкомпонентной капли

Также как и в экспериментах [19–21] имелись ограничения по шагу изменения концентрации компонентов капли вследствие минимального дозируемого объема. Концентрация воды изменялась от 3 до 97 %.

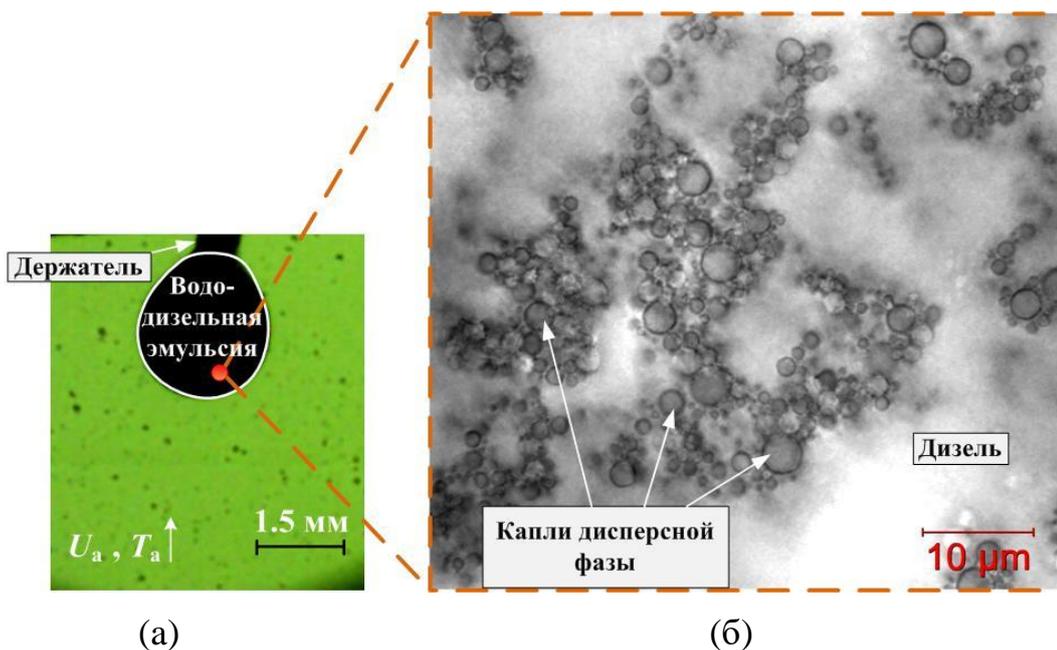
1.3 Водно-дизельные эмульсии

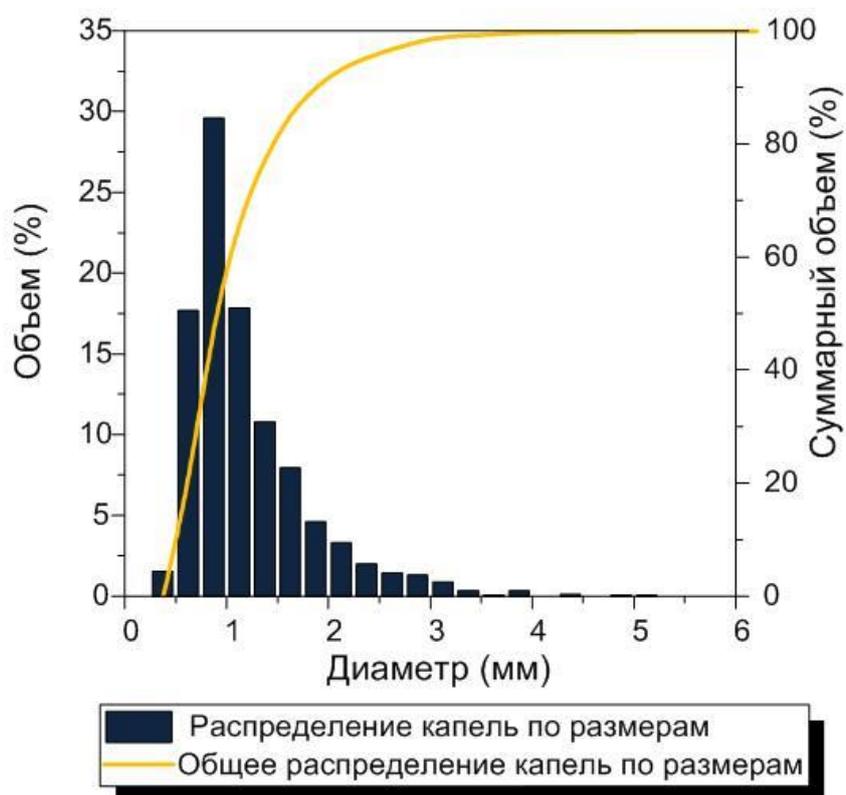
При приготовлении эмульсии типа «вода в дизеле» использовалось три основных компонента: дизельное топливо, вода дистиллированная и ПАВ. Дизельное топливо – ДТ-Л-К5 (летнее) по ГОСТ 32511-2013 со следующими параметрами: плотность – 0,832 г/см³ (при 18 °С), кинематическая вязкость –

2,065 сСт (при 40 °С). Вода дистиллированная с удельной электропроводностью не более 5 мкСм/см. ПАВ использовалось для стабилизации эмульсии (подробное описание приведено выше).

Эмульсии получали на высокоскоростном миксере GJ-3S. Навеску эмульгатора растворяли в отмеренном объеме дизельного топлива. В полученный раствор, при перемешивании со скоростью 11 000 об/мин, постепенно вводили требуемый объем дистиллированной воды, после чего перемешивали в течение 7 мин в тех же условиях. Полученную эмульсию дегазировали под вакуумом. На рисунке 2 приведены кадры с изображением капли типичной приготовленной эмульсий типа «вода в дизеле».

Изображение на рисунке 2б было получено с помощью микроскопа ZEISS LSM 780 NLO с использованием лазерной линии 405 нм. На рисунке 2в приведено распределение размеров капель дисперсной фазы в тестируемом образце эмульсии типа «вода в дизеле». В исследуемой эмульсии наиболее представлены капли воды с диаметром 0,8-0,9 мкм. Средний диаметр капель – 1,2 мкм. Полученный средний размер капель дисперсной фазы хорошо коррелирует с аналогичным параметром в известных исследованиях явления микровзрыва в каплях эмульсий типа «вода в дизеле» и в целом эмульсий типа «вода в масле» [34–36].





(в)

Рисунок 2 – Эмульсия типа «вода в дизеле»: (а) – капля типичной приготовленной эмульсий типа «вода в дизеле» (30 % водной фазы, содержание эмульгатора – 3 % масс.); (б) – изображение капли эмульсии типа «вода в дизеле», полученное с помощью микроскопа; (в) – распределение размеров капель дисперсной фазы эмульсии типа «вода в дизеле»

1.4 Экспериментальная методика регистрации последствий распада капель

С помощью высокоскоростной видеокамеры выполнялась регистрация основных процессов, происходящих с каплями (прогрев, вскипание и распад). Для обработки полученных видеозаписей использовались программные комплексы непрерывного слежения за динамическими объектами Tema Automotive и Actual Flow. Обработка заключалась в определении начального размера капель R_d и суммарной площади поверхности испарения жидкости S .

Обработка видеозаписей осуществлялась в два этапа. Первый этап – наблюдение за изменением площади миделевого сечения S_m испаряющейся и деформирующейся капли (Рисунок 3). С помощью программных алгоритмов

слежения Airbag и Advanced Airbag проводился контроль изменения формы капли в процессе ее испарения и деформации, определялись значения площади миделевого сечения капли, и строились зависимости $S_m(t)$. Принималось, что капля имеет форму сферы, а ее миделево сечение представляет окружность. По формуле $R_d=(S_m/\pi)^{0.5}$ вычислялся средний радиус капли R_d . Погрешности определения R_d не превышали 2,5 %. Далее с использованием формулы $S=4\pi R_d^2$ определялась суммарная площадь поверхности испарения капли.

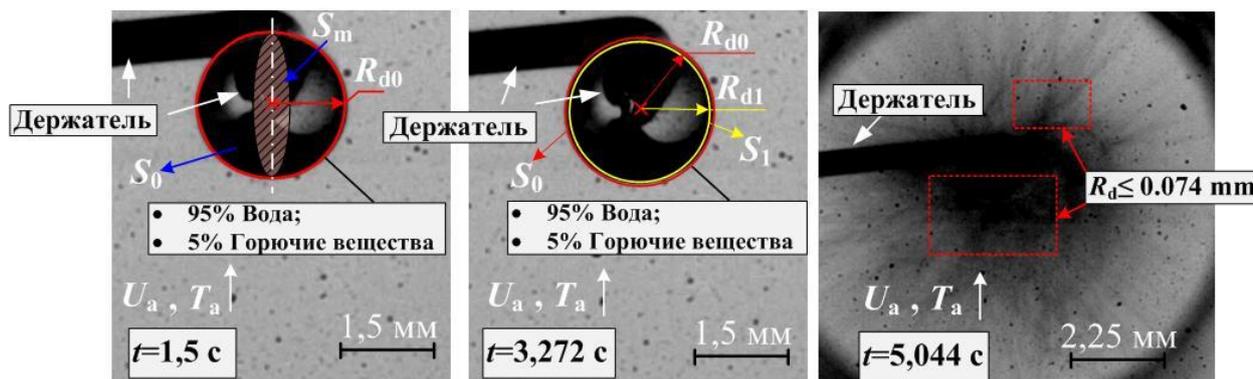


Рисунок 3 – Схема регистрации процесса измельчения нагреваемой капли и образование аэрозоля

На втором этапе анализировались видеозаписи после взрывного разрушения неоднородной капли на отдельные мелкие фрагменты, для этого применялось программное обеспечение Actual Flow. Проводился цифровой анализ теневого изображения, в результате которого определялись положение, границы и размеры отдельных капель. При определении размеров капель применялся программный алгоритм Bubbles identification, используемый при реализации измерений методом Shadow Photography [29]. Погрешность вычисления R_d с применением такого подхода не превышала 3 %.

Основным результатом обработки полученных данных служили распределения капель по размерам (велось разбиение всех капель на m групп, для каждой группы определялись количество капель – n и средний размер капель в группе – R_{dn}). С помощью формулу $S_n=n\cdot 4\pi R_{dn}^2$, вычислялась поверхность испарения жидкости для капель каждой группы.

1.4.1 Нагрев капель

В работе [37] рассмотрены типичные схемы нагрева капель для изучения закономерностей радиационного, конвективного и кондуктивного нагрева. Наибольший интерес представляют схемы с конвективным и радиационным нагревом, так как они приближают лабораторные эксперименты к практическим условиям. При этом конвективный нагрев во всем диапазоне температур [37] характеризовался большим тепловым потоком. Поэтому в настоящей работе один из основных способов проведения экспериментов – нагрев капель воды в потоке разогретого воздуха по схеме [37]. Кроме того, выполнялись дополнительные опыты с нагревом исследованных двухкомпонентных капель и капель эмульсий в муфельной печи, температура воздуха варьировалась в диапазоне от 20 °С до 1000 °С. В опытах с конвективным нагревом скорость потока варьировалась от 0,5 до 6 м/с.

1.4.2 Схемы установок и их описание

Кроме представленных выше схем нагрева капель, также применялся нагрев с помощью индукционной установки (рисунок 4). Стальную подложку, предварительно полированную, нагревали с помощью высокочастотного индукционного нагревателя до нужной температуры (температурный диапазон варьировался от 100 до 650 °С), температура регистрировалась с помощью пирометра и термопары. Полированная подложка – цилиндр из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т и углублением цилиндрической формы в верхней части диаметром 5,5 мм и глубиной 2 мм (Рисунок 4). С помощью дозатора генерировались капли объемом 15 мкл. Поведение капли регистрировалось с помощью высокоскоростной видеокамеры с макро-объективом.

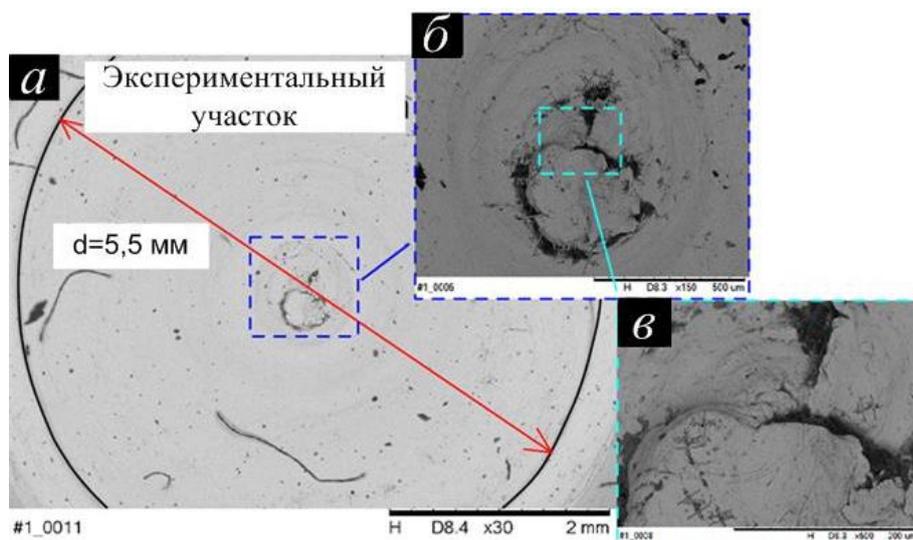


Рисунок 4 – Микроскопия поверхности рабочей зоны полированной подложки

На рисунке 5 приведена схема нагрева экспериментального стенда с индукционным нагревом капель. На рисунке 6 изображены типичные кадры процессов прогрева и фазовых превращений капель эмульсий типа «вода в дизеле». В процессе нагрева от капли эмульсии отделяются довольно крупные фрагменты размером от 3,71 мм до 0,3 мм (рисунок 6в), данное явление называется «паффинг» (от англ. «puffing»). Кроме того, частым последствием высокотемпературного локального нагрева являлся микровзрыв (рисунок 6е). Исходная капля разлеталась на большое количество мелких частиц с диаметром меньше 0,12 мм, это явление сопровождается характерным хлопком и формированием большого аэрозольного облака с характерным запахом CO_2 .

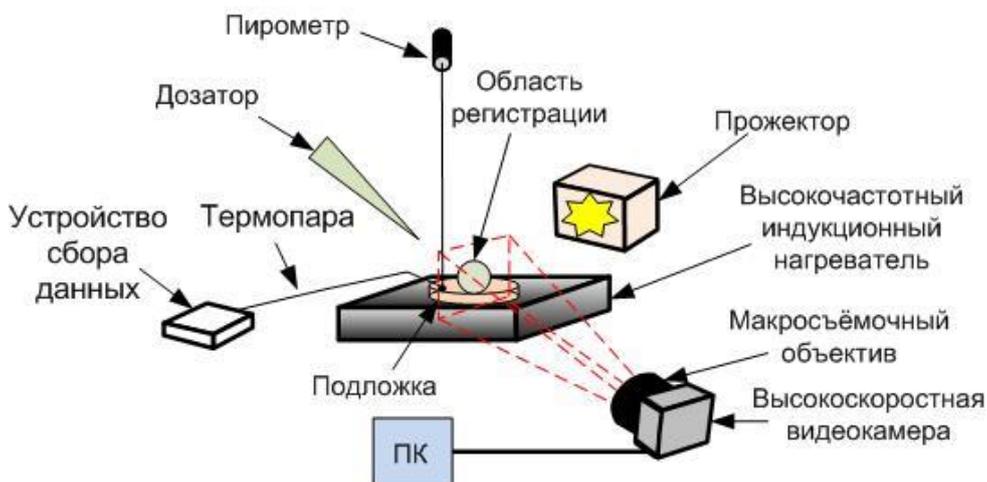


Рисунок 5 – Схема индукционного нагрева капель на подложке

Индукционный способ нагрева каплей (рисунок 5) несет большое практическое значение для данной работы. Поскольку, как указано в разделе 2 «Анализ объекта автоматизации», камера сгорания имеет ряд металлических сеток, которые представляют поверхность теплообмена при испарении каплей эмульсии типа «вода в дизеле».

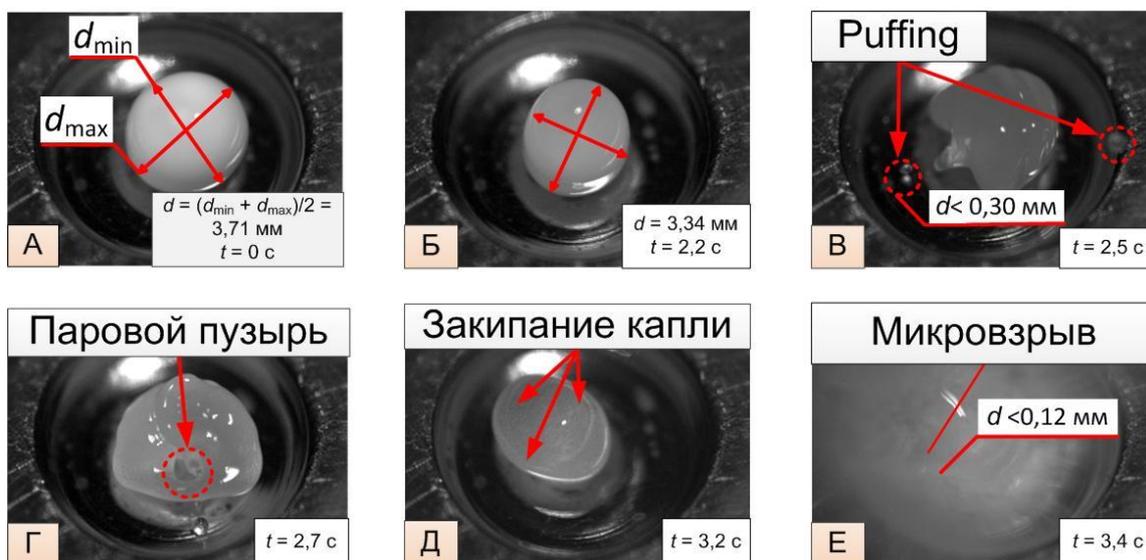


Рисунок 6 – Кадры процесса индукционного нагрева капли эмульсии на подложке

1.4.3 Регистрируемые параметры и погрешности

В таблице 1 перечислены регистрируемые параметры в проведенных экспериментах, а также указаны систематические погрешности средств измерений.

Таблица 1 – Основные регистрируемые параметры и погрешности их определения

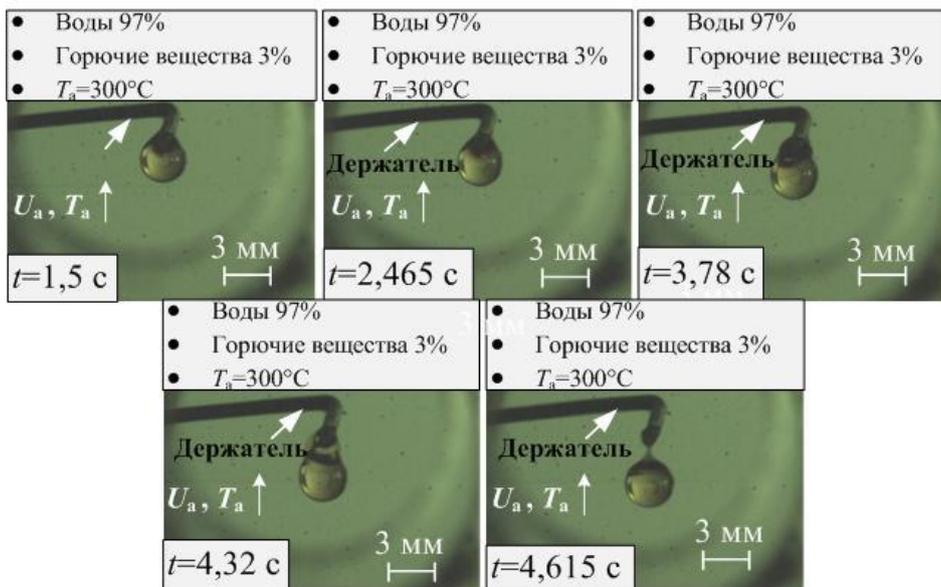
Среда	Физическая величина	Средство / метод измерения	Систематические погрешности
Разогретый воздух	температура воздуха (T_a)	термический преобразователь (IT-8)	$\pm (0,2+0,001T)$
	скорость потока воздуха (U_a)	«Particle Image Velocimetry» (PIV)	$\pm 2\%$

Среда	Физическая величина	Средство / метод измерения	Систематические погрешности
Неоднородная капля	объем капли (R_d)	Дозаторы Finnpiquette Novus	$\pm 0,05$ мкл
	радиус капли (R_d)	высокоскоростные камеры Phantom Miro M310, Photron Fastcam SA1, ПО Tema Automotive	$\leq 4\%$
Существование и распад неоднородных капель	время прогрева капли и ее испарения с сохранением целостности (τ_h) время распада капли (τ)	высокоскоростные камеры Phantom Miro M310, Photron Fastcam SA1, Phantom V 411, ПО Tema Automotive	$\leq 4\%$

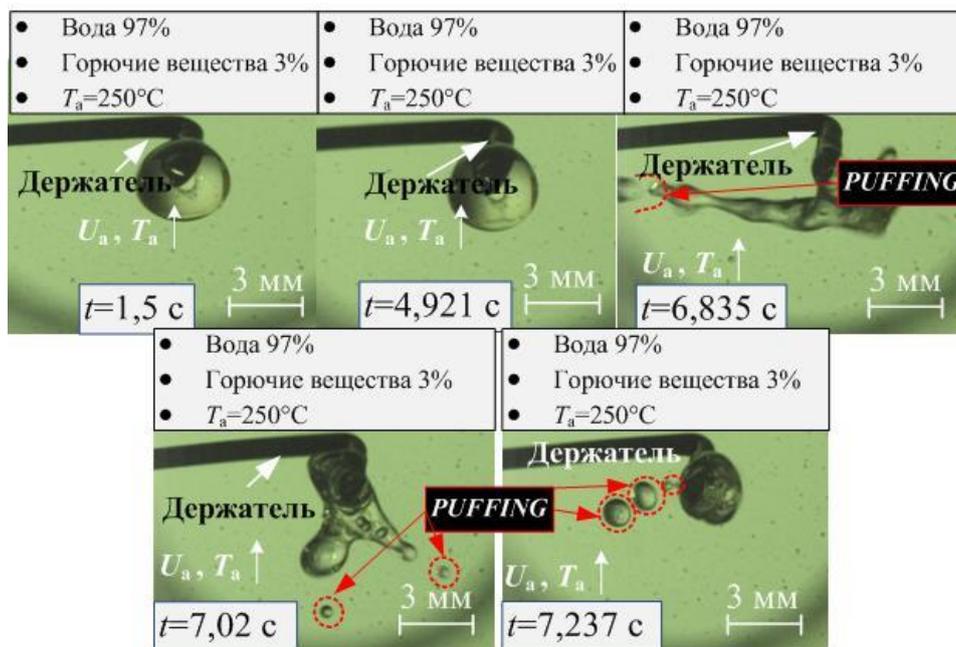
1.5 Результаты и обсуждение

1.5.1 Режимы разрушения капель

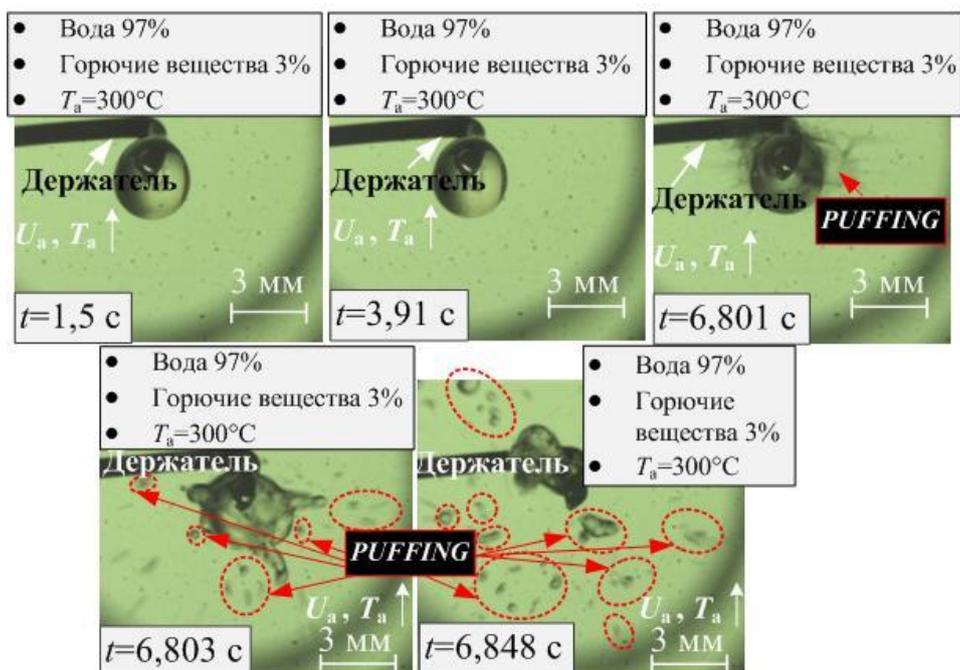
Проведя ряд экспериментальных исследований, были выделены четыре варианта последствий нагрева двухкомпонентных капель (рисунок 7). Два варианта последствий характеризуются двумя хорошо известными режимами распада капель [34–36]: «паффинг» (от англ. «puffing») (фрагментация жидкости без разрушения родительской капли, рисунки 7б, в). Отличия процессов разрушения капель на этих двух рисунках заключаются в количестве и размерах, которые образуются при диспергировании фрагментов жидкостей и микровзрыв (полное разрушение родительской капли, рисунок 7г).



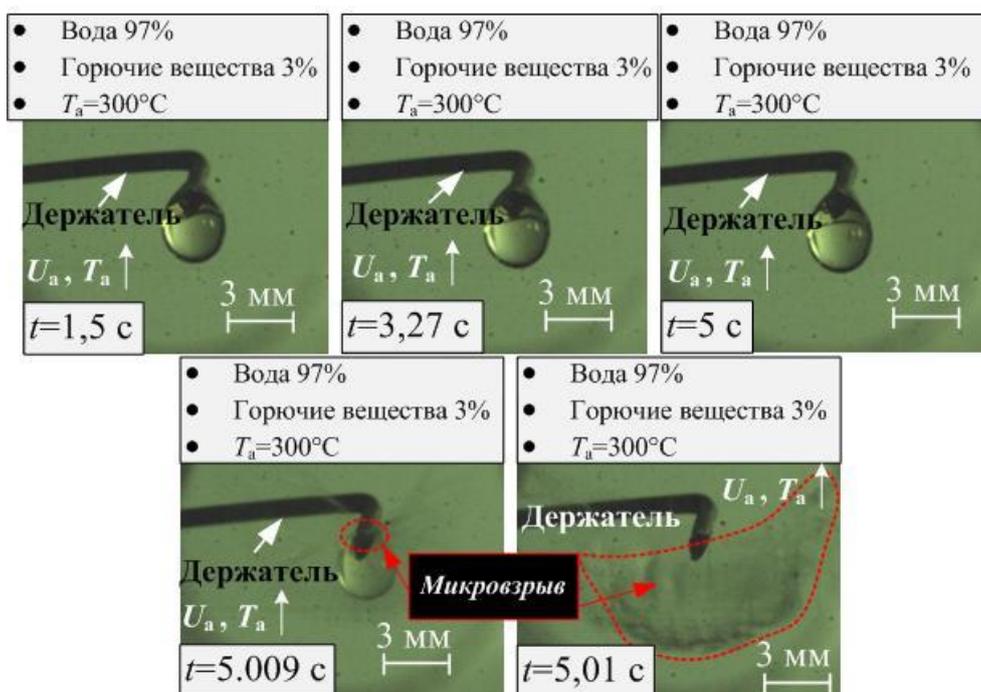
(a)



(б)



(B)



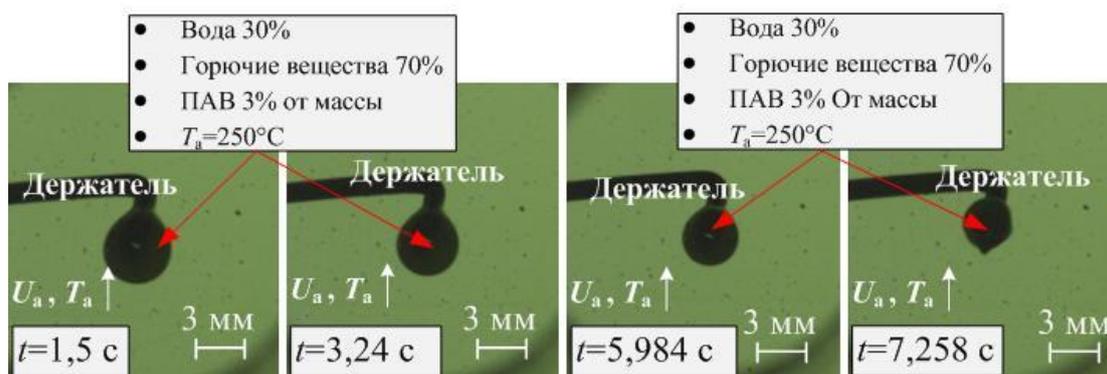
(Г)

Рисунок 7 – Кадры эксперимента с реализацией четырех вариантов последствий нагрева двухкомпонентных капель: (а) – срыв с держателя (вариант 1), (б) – диспергирование крупных фрагментов без распада (вариант 2), (в) – диспергирование полидисперсных фрагментов с распадом (вариант 3), (г) – взрывное измельчение (образование аэрозоля) (вариант 4)

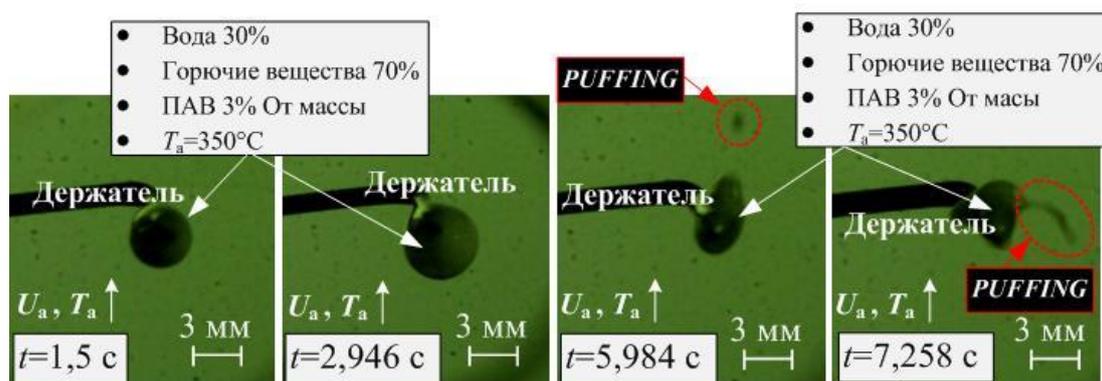
Каждый из представленных вариантов характеризовался рядом особенностей. Для варианта 1 характерным было то, что вначале капля интенсивно прогревалась и вскипала, но пузыри образовывались не по всему объему, поэтому в определенный момент времени, вследствие локального заполнения капли газом, происходил ее срыв капли с держателя (рисунок 7а). Для варианта 2 процессы кипения реализовывались практически во всем объеме капли. Каждое разрушение, образующегося при кипении пузыря, сопровождалось отрывом частей капли (рисунок 7б). Варианты 3 (рисунок 7в) и 4 (рисунок 7г) реализовались при увеличении концентрации горючей жидкости, либо при увеличении концентрации рабочих. При последних двух вариантах пузыри формировались во всем объеме, т.к. кипение капли было весьма интенсивным. Однако в случае варианта 3 отрывы большого количества капель происходили фрагментарно (примерно за 2–4 взрыва капля разрушалась полностью). В случае варианта 4 капля равномерно прогревалась по всему объему, в процессе нагрева от материнской капли практически не отделялось никаких фрагментов. Затем происходил громкий хлопок, и капля мгновенно измельчалась. Образовывался мелкодисперсный аэрозоль с четко детектируемыми парами. Наличие последних можно было регистрировать как визуально за счет применения высокоскоростной видеокамеры и явно выраженного тумана, а также по характерному запаху CO и CO₂.

Кроме экспериментов с двухкомпонентными каплями были проведены эксперименты с эмульсиями при разных концентрациях горючего компонента (30%, 50%, 70%). Выделены 2 режима существования эмульсии типа «вода в дизеле» (рисунок 8): испарение и диспергирование. Взрыва капель ни в одном эксперименте не зафиксировано. Скорее всего, это связано с тем, что взрыв капли эмульсии зависит от доминирующего локального интенсивного подвода энергии [37], который впоследствии запускает цепной механизм [38] схлопывания паровых пузырьков по всему объему капли. В экспериментах с каплями эмульсии на держателе прогрев хоть и интенсивный, но равномерно распределяется по всей поверхности капли. Такой режим нагрева капли ведет к

ее испарению. По существу, поверхность капли эмульсии типа «вода в дизеле» – это дизель, это подтверждает видеорегистрация, так как со временем капля из белой превращается в прозрачную, т.е. остается только вода в капле. К тому моменту, когда должны начать взрываться пузырьки пара, концентрация дизеля в капле существенно снижается, вследствие чего не происходит желаемого явления микровзрыва. При таком нагреве капли эмульсии можно наблюдать режим диспергирования, который связан с прогревом глубинных слоев капли при более высоких температурах нагрева. При нагреве капля эмульсии на держателе пузырьки пара не формируются по всему ее объему, а лишь в локальных областях капли. При разрушении объединенного пузырька наблюдается заявленный режим диспергирования, характеризуемый достаточно крупными отделившимися фрагментами жидкости (рисунок 8б).



(а)



(б)

Рисунок 8 – Кадры эксперимента с реализацией двух режимов для эмульсии типа «вода в дизеле»: (а) – испарение, (б) – диспергирование

1.5.2 Количественные оценки последствий распада капель

На рисунке 9 можно увидеть, насколько может увеличиться суммарная площадь поверхности испарения при получении мелкодисперсного аэрозоля вследствие взрывного измельчения двухкомпонентных капель объемом 15 мкл (начальная площадь поверхности испарения S_0 каплей составила около 29,4 мм²; расчет выполнен с использованием формулы для вычисления площади сферы $S_0=4\pi R_{d0}^2$, где $R_{d0}\approx 1,53$ мм при $V_d=15$ мкл). Прослеживается следующая зависимость, чем больше разница между концентрациями жидкостей в капле, тем больше вероятность возникновения эффекта взрывного измельчения капель. Чем больше жидкого горючего компонента и меньше воды, тем время прогрева перед распадом меньше, а количество образующихся капель нелинейно больше. Это обусловлено прогревом жидкого горючего компонента и интенсивным наполнением капли пузырьками горючих газов, которые коагулировали и создавали газовую полость в капле. Этот процесс приводил к резкому росту размеров капли и утончению пленки жидкости. Вследствие этого, при достижении предельных значений толщины пленки она разрывалась, что и вело к образованию мелкодисперсного аэрозоля. Выходящие газы и пары образовывали смог в области регистрации.

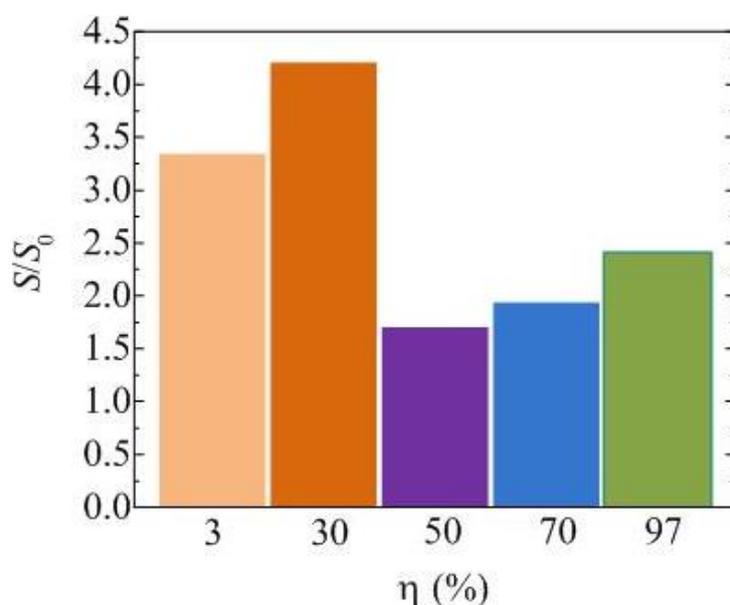
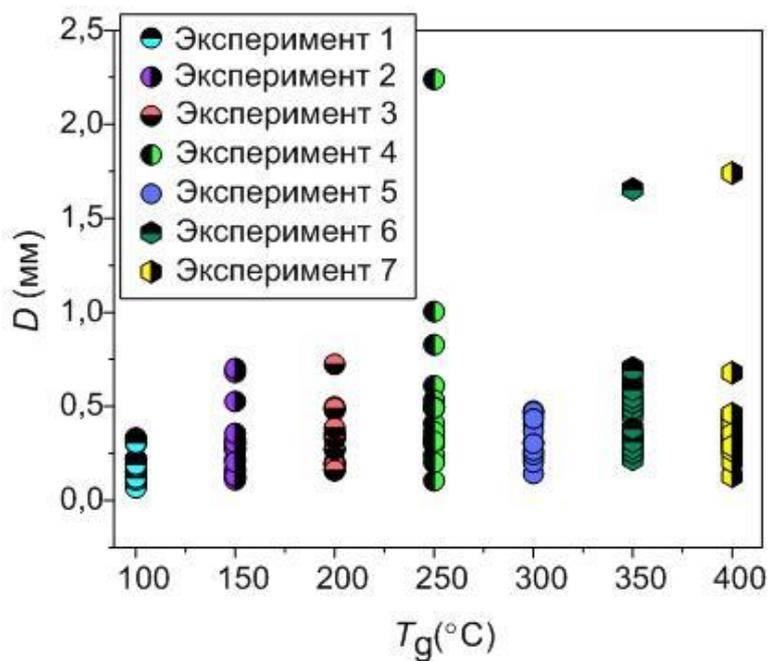


Рисунок 9 – Суммарная площадь поверхности испарения двухкомпонентных капель при $T_a = 350$ °С с начальным объемом 15 мкл.

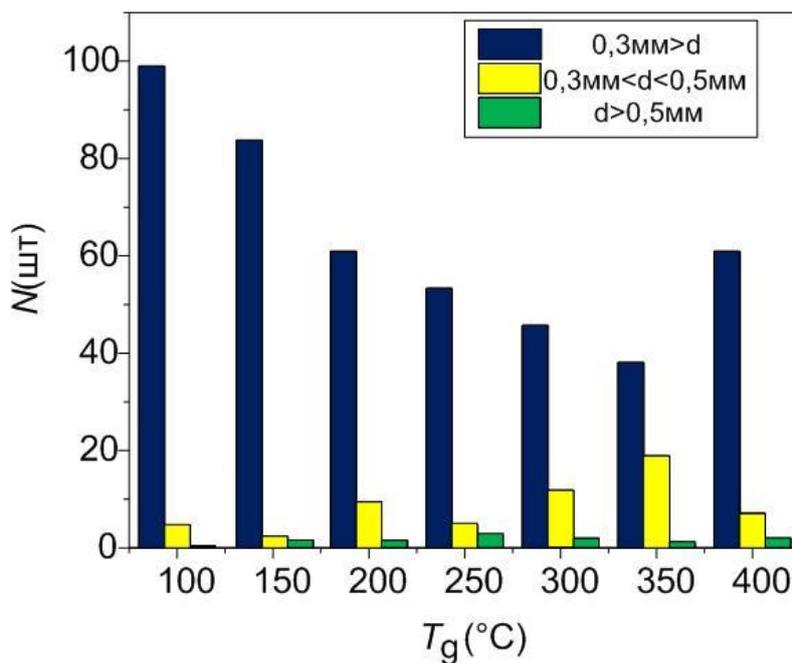
При сравнении характеристик прогрева, вскипания и измельчения двухкомпонентных капель и капель эмульсии типа «вода в дизеле» установлено, что чем меньше температуры кипения, вспышки и воспламенения горючих компонентов, тем динамичнее происходит рост площади S . Это происходит из-за высоких значений массовой скорости парообразования жидких горючих компонентов [1, 30, 31], кроме того, для всех жидкостей характерны экспоненциальные зависимости скоростей парообразования от температуры [1]. Поэтому капля наполняется большим количеством горючих паров и газов, имеющих достаточно высокую температуру по сравнению с водой. Вода прогревается медленно вследствие большого расходования энергии на эндотермический фазовый переход.

На рисунках 10 и 11 представлены экспериментальные результаты количественного анализа процесса взрывного разрушения двухфазных капель и капель эмульсии типа «вода в дизеле». Диапазоны размеров (диаметров) отделившихся при парообразовании воды фрагментов жидкости довольно близки (рисунки 10а, 11а). Тем не менее, диаметры фрагментов были разделены на группы (рисунки 10б, 11б). Более того, анализ показал (рисунки 10б, 11б), что в рамках каждой группы количество отделившихся фрагментов жидкости

ведет себя по-разному в условиях увеличения тепловой нагрузки. Общая тенденция и основной вывод заключаются в том, что и для двухкомпонентных капель, и капель эмульсий при нагреве диаметр отделившихся фрагментов увеличивается. Это хорошо видно на рисунках 10б и 11б. Предполагается, что такой результат обусловлен быстрым локальным перегревом дисперсной фазы (воды) в двухфазной капле, следствием которого является эффект «паффинг» (от англ. «puffing») (частичное разрушения целостности «родительской» капли с формированием довольно крупных фрагментов). В то же самое время, при равномерном прогреве (при низких T_g) парообразование воды с расширением дисперсной фазы происходит преимущественно по всему объему капли, что в конечном итоге способствует микровзрыву (полному разрушению «родительской» капли с формированием мелкодисперсного жидкого аэрозоля). Важно отметить, что статистически при нагреве капли эмульсии типа «вода в дизеле» происходит формирование большего количества фрагментов по сравнению с двухкомпонентной каплей ($d < 0,3$ мм, рисунки 10б и 11б; фрагменты в основном сформированы в результате микровзрыва). Такой результат, скорее всего, обусловлен равномерным распределением микрокапель воды в объеме непрерывной фазы (дизеля). Даже в условиях коагуляции микрокапель в процессе нагрева цепная реакция, приводящая к микровзрыву, способствует более тонкому диспергированию жидкости в отличие от двухкомпонентных капель, в которых фазы разделены сплошной границей раздела, имеющей очевидно сравнительно меньшую площадь. От степени перегрева этой границы (горючего компонента относительно воды) по всей видимости зависит эффект микровзрыва в двухкомпонентных каплях.

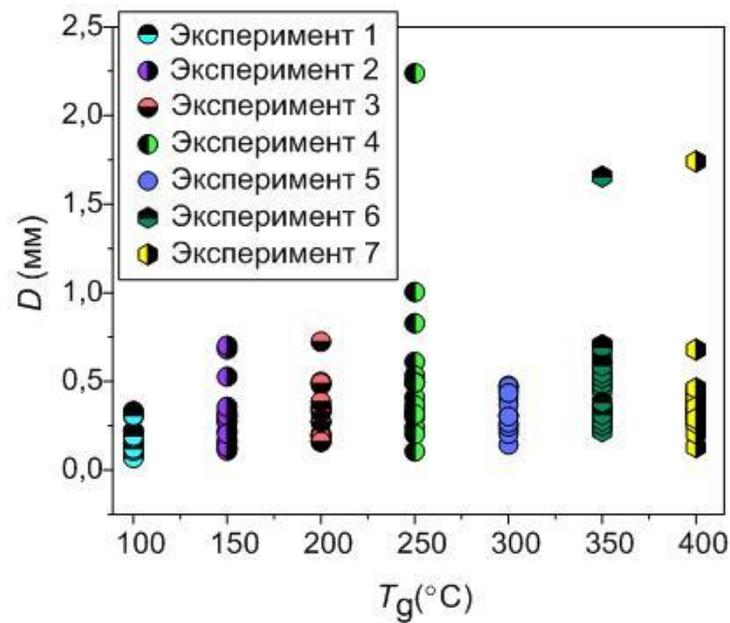


(a)

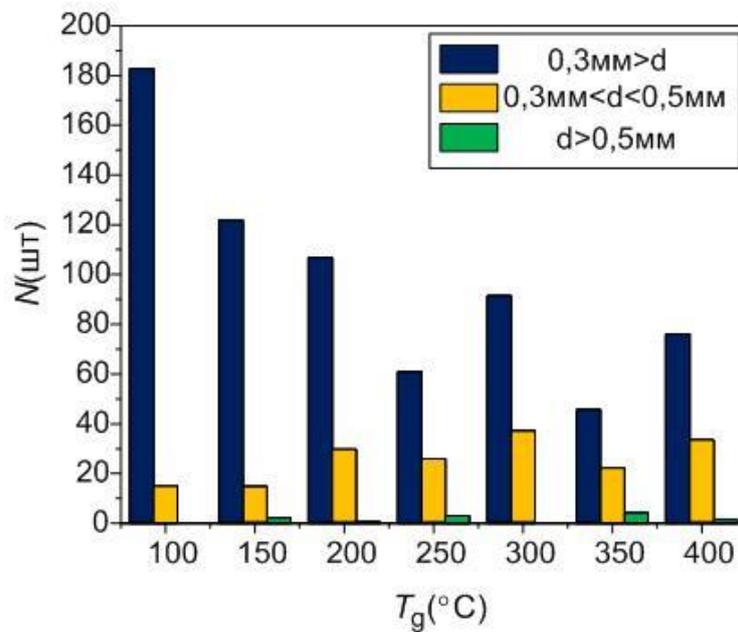


(б)

Рисунок 10 – Кондуктивный нагрев двухкомпонентных капель с начальным объемом 15 мкл (массовая доля воды 0,3): (а) – распределение размеров (диаметров) отделившихся частиц жидкости при фазовых превращениях; (б) – количество фрагментов жидкости, отделившихся при фазовых превращениях



(а)



(б)

Рисунок 11 – Кондуктивный нагрев капле эмульсии типа «вода в дизеле» с начальным объемом 15 мкл (массовая доля воды 0,3): (а) – распределение размеров (диаметров) отделившихся частиц жидкости при фазовых превращениях; (б) – количество фрагментов жидкости, отделившихся при фазовых превращениях

1.5.3 Факторы, влияющие на прогрев и распад капель

В результате проведенного анализа было выявлено, что на основные характеристики: длительность процесса, размеры и количество образующихся капель в аэрозоле, прогрева и распада двухкомпонентных капель – влияют определенные факторы: концентрация компонентов и подведенный к поверхности капли тепловой поток. Если рассматривать эмульсию, то к этим факторам можно добавить ряд других [39, 40]: размер капель воды в объеме горючей жидкости, размер капли эмульсии, содержание воды в эмульсии. Для изучения некоторых характеристик были выполнены эксперименты с варьированием температуры потока воздуха, результаты которых приведены ниже.

Варьирование концентрации жидкого горючего компонента в двухкомпонентной капле позволяет изменить время распада в 3–4 раза, а иногда и больше (рисунок 12). При этом видно, что такие закономерности регистрировались в опытах со значительным конвективным тепловым потоком к поверхности капли.

Полученные закономерности, касательно прогрева, вскипания и взрывного измельчения двухкомпонентных капель с разной концентрацией компонентов показывают, что эффект измельчения можно успешно реализовывать в большой группе технологий и в разных условиях нагрева. Совместное изменение температуры и концентрации компонентов позволяют изменять времена τ в несколько раз. Важно обеспечить последовательное измельчение капель в процессе нагрева и испарения. Целесообразно учитывать данные закономерности при проектировании камер сгорания и разработке регламентов соответствующих технологий.

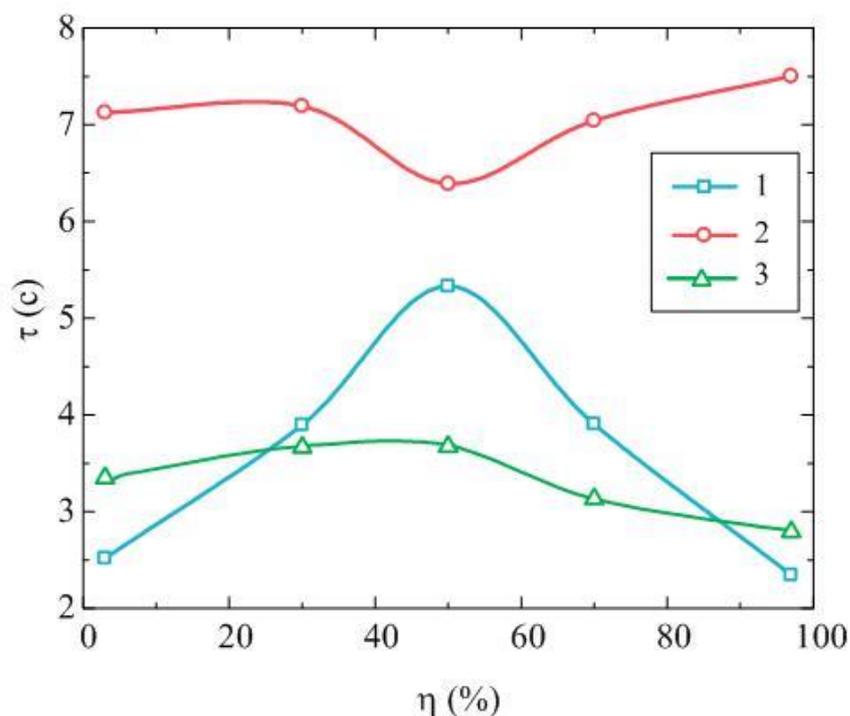


Рисунок 12 – Зависимость времен распада неоднородных капель (с начальным объемом 15 мкл) от концентрации горючей жидкости: 1 – конвективный нагрев при температуре 350 °C и скорости потока 2 м/с; 3 – радиационный нагрев при температуре 350 °C; 2 – радиационный нагрев при температуре 500 °C

Если говорить о неоднородных каплях, то на времена их разрушения, кроме рассмотренных выше параметров, влияет размер капель. На рисунке 13 приведена зависимость времен существования капель эмульсии типа «вода в дизеле» в зависимости от размеров (радиусов) капель. Радиус неоднородных капель изменялся от 0,468 мм до 1 мм. Верхняя граница данного диапазона обусловлена возможностями «повесить» каплю на держателе, нижняя – возможностями используемого оборудования.

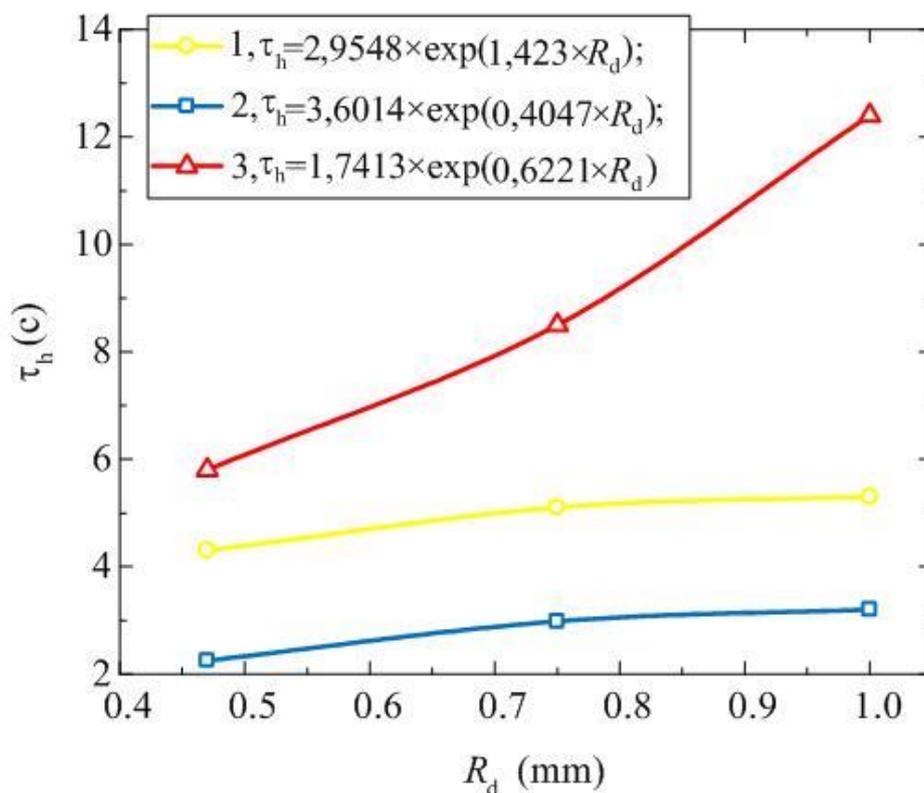


Рисунок 13 – Зависимость времени распада капли эмульсии типа «вода в дизеле» от ее начальных размеров: 1 – 30% воды + 70% дизельного топлива при температуре 350 °С и скорости потока 2 м/с; 2 – 30% воды + 70% дизельного топлива при температуре 300 °С и скорости потока 2 м/с; 3 – 30% воды + 70% дизельного топлива при температуре 400 °С и скорости потока 2 м/с

1.6 Заключение

В результате экспериментальных исследований был сделан ряд ценных выводов, который в дальнейшем повлиял на создание АСУ топливоподачи в камеру сгорания.

Во-первых, измельчение капель и частиц, входящих в состав топлива, приводит к снижению затрат на розжиг топлив и повышает полноту их выгорания. Если учитывать данные факторы при создании камер сгорания водогрейных котлов, то можно значительно повысить эффективность сгорания топлива.

Во-вторых, из результатов экспериментов можно сделать вывод, что эмульсии типа «вода в дизеле» с содержанием воды больше 30% непригодны

для сжигания в камере сгорания водогрейного котла, т.к. при такой концентрации не обеспечиваются условия для необходимого явления микровзрыва. Максимальных эффектов измельчения можно добиться при добавлении в каплю горючей жидкости или топлива не более 3% воды, в этом случае происходит мгновенное вскипание капли и образование мелкодисперсного аэрозоля.

В-третьих, температура греющей среды существенно влияет на последствия разрушения неоднородных капель. При повышении температуры с 250 °С до 500 °С время взрывного разрушения снижается в 3–7 раз и размеры капель в формирующемся аэрозоле уменьшаются на 80–90%. Кроме того, можно сказать, что благоприятная температура для образования мелкодисперсного аэрозоля – 400 °С и выше.

В-четвертых, при микровзрыве капли эмульсии типа «вода в дизеле» формируется большее количество фрагментов жидкости по сравнению с двухкомпонентной каплей, а значит эффективность их сжигания значительно выше. Поэтому было решено в качестве топлива, для сжигания в камере сгорания водогрейного котла, использовать эмульсию типа «вода в дизеле».

В-пятых, вероятность возникновения микровзрыва для капель эмульсии типа «вода в дизеле» выше всего на металлической подложке. Поэтому, для увеличения вероятности микровзрыва, в камере сгорания водогрейного котла было решено установить ряд металлических сеток.

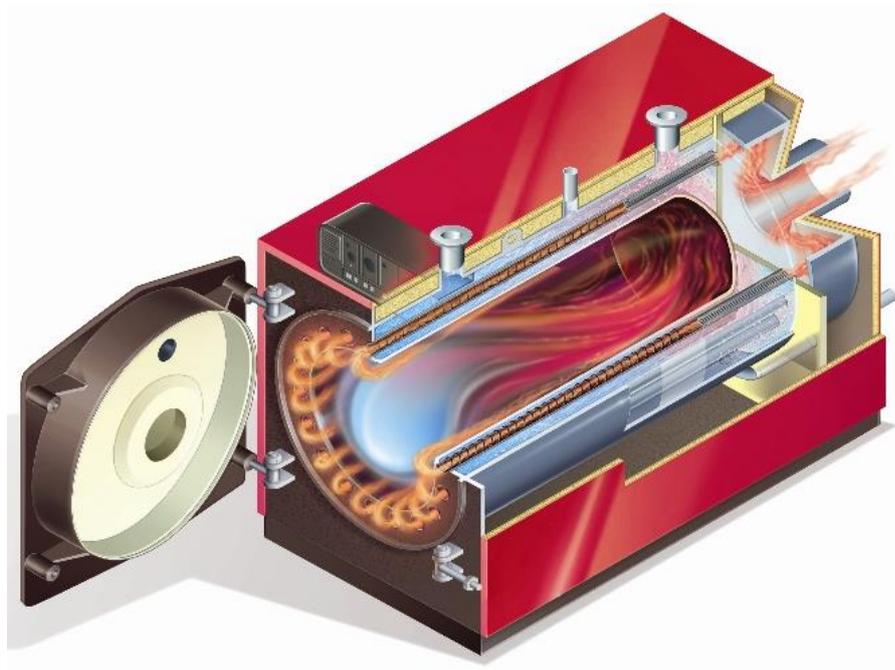
2 Проектирование АСУ топливоподачи

2.1 Анализ объекта автоматизации

В качестве объекта управления рассматривается система топливоподачи в камеру сгорания с полной тепловой мощностью 62,6 кВт, предназначенная для измельчения капель эмульсии типа «вода в дизеле» [43].

Отличительная особенность камеры сгорания – последовательный ряд металлических сеток, равномерно распределенных по всей длине камеры сгорания (рисунок 146).

Данная камера сгорания предназначена для сжигания топливной эмульсии при температурах от 120 до 450 °С. Топливо, распыляемое в камере сгорания, попадает на металлические сетки. При соприкосновении топливной эмульсии с раскаленными металлическими сетками, происходит явление микровзрыва (micro explosion), сопровождаемое большим выделением энергии. Для увеличения КПД, в камеру сгорания решено добавить металлические кольца Рашига. Таким образом, увеличивается вероятность возникновения микровзрыва путем увеличения металлических поверхностей внутри камеры сгорания [48].



(a)

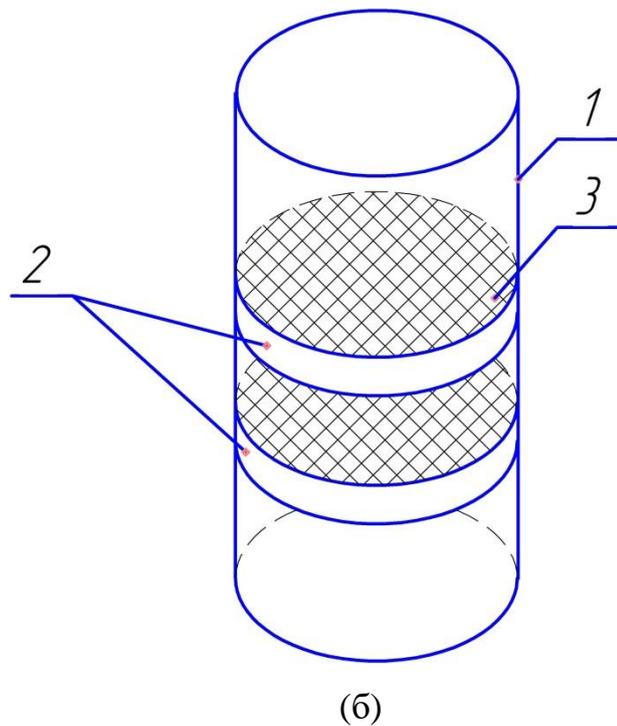


Рисунок 14 – Камера сгорания водогрейного котла: (а) – промышленная камера сгорания; (б) – изменения, которые были внесены в промышленную камеру сгорания, основываясь на поведении эмульсии типа «вода в дизеле» при нагреве: 1 – корпус камеры сгорания, 2 – металлические сетки, 3 – ячейка размером 3х3 мм

В отличие от промышленной камеры сгорания водогрейного котла (рисунок 14а) [49], данную камеру сгорания было решено расположить вертикально (рисунок 14б), т.к. данное решение приведет к увеличению КПД за счет того что эмульсия будет проходить весь объем камеры сгорания, а не задерживаться на одной из первых металлических сеток.

Таблица 2 – Характеристики камеры сгорания

Техническая характеристика	Значение
Полная тепловая мощность, кВт	62,6
Полезная тепловая мощность, кВт	55,0
Объем теплоносителя в камере сгорания, л	74
Расход топлива, л/ч	5,6 (0,0056 м ³ /ч)

Техническая характеристика	Значение
Температура продуктов сгорания, °С	160 – 250
Максимально допускаемая температура на выходе из котла, °С	90
Минимально допускаемая температура на выходе из котла, °С	60
Максимальное рабочее давление, МПа	0,4
Минимальное рабочее давление, МПа	0,1
Диаметр дымохода, мм	200

Система регулирования для камеры сгорания сводится в поддержании во времени таких параметров, как температура, давление, расход и т. д. Немаловажным фактором здесь является экономичная работа камеры сгорания, т. е. создать такие условия, чтобы топливо сгорало полностью и при этом обеспечивалось максимальное КПД [43].

Регулирование подачи топливной эмульсии происходит по схеме «тепло-воздух», основываясь на параметрах камеры сгорания.

2.1 Перечень технических требований к системе

К автоматизированной системе регулирования предъявляются следующие технические требования:

- система должен осуществляться сбор данных о текущем состоянии работы системы, об отклонении регулирования от необходимых значений;
- система должна быть оснащена ручным управлением при полном отказе МПК;
- технические средства, применяемые в системе, должны выполнять все необходимые функции при этом экономичность создания системы должна учитываться [66];

- система должна удовлетворять требованиям системы стандартов безопасности труда ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.2.007.14, ГОСТ 12.2.061 и пожарной безопасности ГОСТ 12.1.004.

2.2 Выбор структуры автоматизированной системы регулирования топливоподачи

В данном курсовом проекте целесообразно использовать структурную схему регулирования расхода топливной эмульсии и воздуха по температуре в камере сгорания. Это обеспечит оптимальное количество сжигаемого топлива, величина которого будет напрямую зависеть от желаемой температуры в камере сгорания.

Температура в камере сгорания отслеживается по показаниям шести термоэлектрических преобразователей сопротивления. На структурной схеме представлено два контура управления, по воде и по топливу.

Была разработана структурная схема АСУ расхода топливной эмульсии. Схема представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.005 С1.

В таблице 3 представлены условные обозначения, используемые для составления структурной схемы.

Таблица 3 – Наименование условных обозначений структурной схемы

Наименование	Обозначение
Регулирующий орган	РО1/РО2
Термоэлектрический преобразователь	ТП
Исполнительный механизм	ИМ
Пусковое устройство	ПУ
Контроллер	К

2.3 Разработка функциональной схемы АСУ топливоподачи

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является одним из основных проектных документов, определяющих функциональную структуру и объем автоматизации технологических установок и отдельных агрегатов

промышленного объекта. Она представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование; коммуникации; органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства) с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматики. Вспомогательные устройства, такие, как редукторы, фильтры для воздуха, источники питания, соединительные коробки и другие монтажные элементы, на ФСА не показываются.

Технологическое оборудование и коммуникации на ФСА изображают упрощенно (в сокращенном виде), без указания технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения. Масштаб при этом не соблюдается. Изображенная таким образом технологическая схема должна давать ясное представление о принципе работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

Функциональная схема автоматизации, как правило, решает ряд задач:

- получение первичной информации об объекте автоматизации,
- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования.

На технологических трубопроводах обычно показывают ту регулировочную и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле управления процессом, а также запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора импульсов или поясняющие необходимость измерений. Технические аппараты и трубопроводы вспомогательного назначения показывают только в тех случаях, когда они механически соединяются или взаимодействуют со средствами автоматизации.

Внутри контуров условных обозначений технологического оборудования или рядом с ними необходимо приводить поясняющие надписи.

Учитывая все вышеперечисленные требования, была разработана функциональная схема АСУ расхода топливной эмульсии. Схема представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.005 С2.

Для данной функциональной схемы применялись условные обозначения, представленные в таблице 4 [46].

Таблица 4 – Наименование условных обозначений функциональной схемы

Наименование	Обозначение
Первичный преобразователь температуры	TY
Первичный преобразователь расхода	FY
Регулирующие органы	PO1/PO2
Исполнительные механизмы	26/66
Компрессор	HS1
Топливный насос	HS2
Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления (включение, выключение двигателя; открытие, закрытие запорного органа; изменение задания регулятору).	H
Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на пульте управления. Например: кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой и т. п.	HA
Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (включение, выключение насоса; открытие, закрытие задвижки и т. д.).	NS

Первая задача, которая стояла при разработке функциональной схемы, было измерить температуру в камере сгорания. Для этого по всей площади камеры сгорания было установлено 6 термоэлектрических преобразователей (6 измерительных каналов 6-11).

Следующей задачей, было поддержание температуры на необходимом значении, добиваясь при этом максимально возможного КПД. Для этого нужно подводить воздух и топливо в камеру сгорания при этом соблюдать нужное соотношение топлива и воздуха. С этой целью установлены топливный насос (канал управления 16), компрессор (канал управления 1), регулирующий орган с исполнительным механизмом для воздуха (каналы 3 и 4), регулирующий орган с исполнительным механизмом для топлива (каналы 13 и 14).

Помимо регулирования топлива и воздуха, необходимо следить за такими параметрами, как температура и расход. За температуру воздуха отвечает измерительный канал 2, за расход воздуха измерительный канал 5. За температуру топлива отвечает измерительный канал 15, за расход измерительный канал 12.

Кроме того, управление каналами 1, 3, 14, 16 может осуществляться как с микропроцессорного контроллера (МПК), так и вручную с помощью кнопок, установленных на дверце щита управления.

Функции контроля и управления на функциональных схемах автоматизации изображают в соответствии с ГОСТ 21.404–85 [48] и отраслевыми нормативными документами.

2.4 Выбор технических средств АСУ топливоподачи

Система регулирования теплотехнических параметров должна основываться на технических средствах автоматизации, серийно выпускаемых отечественными предприятиями. В приоритете должны быть унифицированные системы и однотипные технические средства, которые обеспечивают взаимозаменяемость, сочетание друг с другом и удобство компоновки на щитах.

Диапазон измеряемых параметров – ключевой фактор для выбора первичных измерительных преобразователей. Кроме того, необходимо учитывать характеристики входных и выходных сигналов первичных измерительных преобразователей. При выборе технических средств АСУ,

требуется с помощью минимального набора технических средств обеспечить выполнение всех требуемых функций.

2.4.1 Выбор датчиков температуры

Проанализировав продукцию различных компаний, было решено воспользоваться услугами фирм «Элемер» и «Метран». Данные компании предоставляет большой выбор датчиков температур по сравнительно низким ценам, относительно зарубежных производителей. Основное отличие данной фирмы, наличие большого количества датчиков температуры с унифицированным выходным сигналом. Это позволит уменьшить число технических средств, для данной системы, т.к. не придется дополнительно выбирать оборудование для преобразования сигналов в унифицированные токовые сигналы.

Для измерения температуры в магистрали подачи воздуха в камеру сгорания обратимся к каталогу фирмы «Элемер» [51]. Необходимо выбрать такой датчик температуры, который имеет унифицированный выходной сигнал, работает в диапазоне от 0 до 50 °С и может измерять температуру газовых сред. Данным требованиям подходит преобразователь измерительный температуры и влажности, ИПТВ-206А-МЗ-01. Преобразователи измерительные температуры и влажности предназначены для измерения и непрерывного преобразования температуры и относительной влажности газовых сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА. Основные технические характеристики ИПТВ-206 МЗ-01 можно увидеть в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики преобразователя измерительного температуры и влажности ИПТВ-206А-МЗ-01

Название	НСХ	Выходной сигнал, мА	Диапазон измерения и преобразования температуры, °С	Степень защиты от пыли и влаги	Напряжение питания, В	Цена, руб
ИПТВ-206А-МЗ-01	Pt500	4-20	0...+50	IP54	24±2,4	17000

Для измерения температуры в магистрали подачи топлива также воспользуемся каталогом фирмы «Элемер» [51]. Необходимо выбрать такой датчик температуры, который имеет унифицированный выходной сигнал, работает в диапазоне от 0 до 100 °С и может измерять температуру жидких сред. Термопреобразователь универсальный, ТПУ 0304/М2-Н, соответствует данным требованиям. Термопреобразователи универсальные ТПУ 0304/М2-Н предназначены для измерения и непрерывного преобразования температуры, твердых, жидких, газообразных и сыпучих веществ в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4...20 мА. Основные технические характеристики ТПУ 0304/М2-Н можно увидеть в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики термопреобразователя универсального ТПУ 0304/М2-Н

Название	НСХ	Выходной сигнал, мА	Диапазон измерения и преобразования температуры, °С	Степень защиты от пыли и влаги	Напряжение питания, В	Цена, руб
ТПУ 0304/М2-Н	100М	4-20	-50...+100	IP65	11...42	10800

Для измерения температуры в камере сгорания понадобятся датчики температуры, имеющие диапазон измерения от 0 до 500 °С, с унифицированным выходным сигналом. Для данных требований подойдет тот же термопреобразователь универсальный, что и для измерения температуры в магистрали подачи топлива, но выберем модификацию с другим диапазоном температур.

Таблица 7 – Технические характеристики термопреобразователя универсального ТПУ 0304/М2-Н

Название	НСХ	Выходной сигнал, мА	Диапазон измерения и преобразования температуры, °С	Степень защиты от пыли и влаги	Напряжение питания, В	Цена, руб
ТПУ 0304/М2-Н	100П	4-20	-50...+500	IP65	11...42	10800

Рассмотрим аналоги датчиков температуры, выпускаемых фирмой «Метран» [65]. ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-274, ТСПУ Метран-276.

Выберем датчики температуры для измерения температуры в камере сгорания. Необходимым техническим требованиям соответствует преобразователь температур ТСПУ Метран-276-Ехd, характеристики которого приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики преобразователя температуры ТСПУ Метран-276-Ехd

Название	НСХ	Выходной сигнал, мА	Диапазон преобразуемых температур, °С	Зависимость выходного сигнала от температуры
ТСПУ Метран-276-Ехd	Pt100	4-20	0...500	линейная

Для аналогового преобразователя температуры с унифицированным выходным сигналом необходимо использовать дополнительный источник питания. Из представленного каталога [66] выбираем блок питания Метран-602-Ехiа-2к, характеристики которого представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики блока питания Метран-602-Ехiа-2к

Название	Количество подключаемых приборов	Питание	Длина линии связи, м
Метран-602-Ехiа-2к	2	220 В, 50 Гц	1000

Из представленных фирм решено воспользоваться продукцией фирмы «Элемер» исходя из большого числа представленных в каталоге аналоговых преобразователей температур с унифицированными выходными сигналами. Для всех выбранных датчиков температур «Элемер» подойдет блок питания БП96, который можно также выбрать из каталога фирмы «Элемер» [51]. БП96 обладает поканальной схемой электронной защиты от перегрузки и короткого замыкания — при перегрузке или коротком замыкании любого канала последний отключается, что не влияет на работу других каналов. После устранения причины перегрузки возвращение канала в рабочее состояние осуществляется вручную путем нажатия на кнопку включения нагрузки. Технические характеристики БП96 приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики блока питания БП96/24-4/80-DIN

Наименование	Значение
Показатели входного напряжения, В	24
Максимальный ток нагрузки, мА	80
Количество гальванически развязанных каналов	4
Степень защиты от пыли и влаги	IP20
Цена, руб	3000

2.4.2 Выбор регулирующего устройства

Рассмотрим несколько производителей ПЛК и выберем подходящий вариант контроллера. Контроллер должен обладать приемлемой ценой и иметь 10 аналоговых входов для регистрации температуры и расхода топлива и 4 дискретных входа. Рассмотрим 3 контроллера разных фирм «Siemens» «AutomationDirect»; «Овен»;

Рассмотрим контроллер Siemens LOGO! 24о 6ED1052-2CC01-0BA6. Основные технические характеристики приведены в таблице 11 [52].

Таблица 11 – Технические характеристики контроллера Siemens LOGO! 240

Наименование	Значение
Показатели входного напряжения	24 В
Количество цифровых входов	8
Количество аналоговых входов	2
Цена	6762 руб.

Для использования данного контроллера не хватает 8 аналоговых входов. Поэтому для его использования требуется докупить модуль ввода аналоговых сигналов LOGO! AM2. Основные технические характеристики данного модуля можно найти в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики модуля ввода аналоговых сигналов, LOGO! AM2

Наименование	Значение
Показатели входного напряжения	24 В
Количество аналоговых входов	2
Цена	5681 руб.
Необходимое количество	4 шт.

Общая стоимость всего оборудования от компании «Siemens», не включая блок питания, будет составлять 29486 руб.

Рассмотрим контроллер фирмы «AutomationDirect», модель C0-00DD1-D. Технические характеристики данного типа контроллера представлены в таблице 13 [53].

Таблица 13 – Технические характеристики контроллера «AutomationDirect C0-00DD1-D.

Наименование	Значение
Показатели входного напряжения	24 В
Количество аналоговых входов	4

Наименование	Значение
Количество дискретных входов	4
Цена	30051 руб.

Даже не докупая дополнительные модули ввода аналоговых сигналов видно, что цена на контроллеры данной фирмы значительно выше, чем фирмы «Siemens».

Рассмотрим контроллеры фирмы «Овен». Самым простым и дешевым контроллером, который может предложить данная фирма является ОВЕН ПЛК63. Технические характеристики данного контроллера можно найти в таблице 14 [55].

Таблица 14 – Технические характеристики контроллера ОВЕН ПЛК63 и составляющих входящих в комплект.

Наименование	Значение
ПЛК63	
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц, 24 В
Количество аналоговых входов	8
Количество дискретных входов	8
Поддерживаемые интерфейсы	RS-232, RS-485
Цена	12390 руб.
МВ110-8А (Модуль аналоговых сигналов)	
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц
Количество аналоговых входов	8
Интерфейс связи	RS-485
Цена	5664 руб.

Наименование	Значение
БП30Б-ДЗ-24 (Блок питания)	
Выходное напряжение	24 В
Макс. выходной ток	1,25 А
Амплитуда пульсации выходного напряжения	120 мВ
Цена	2242 руб.

Из таблицы можно увидеть, что стоимость всего оборудования от фирмы «Овен», включая контроллер, дополнительный модуль аналоговых сигналов, блок питания, составит 20296 руб. Из представленных вариантов продукция фирмы Овен является более предпочтительной.

2.4.3 Выбор технических средств измерения расхода топлива

Для измерения расхода топливной эмульсии и подаваемого воздуха в камеру сгорания необходимо 2 расходомера. Один расходомер для учета воздуха, с расходом 0,0224 м³/ч, другой для топлива, с расходом 0,0056 м³/ч.

Рассмотрим несколько расходомеров для учета топлива:

- ультразвуковой счетчик-расходомер дизельного топлива US-800 от фирмы «Encont»,
- расходомер топлива DFM 100AK (CAN, 485, 232) от фирмы «Techoton северо-запад»,
- расходомеры электромагнитный Метран «Rosemout 8700».

Технические характеристики ультразвукового расходомера US-800 от фирмы «Encont» представлены в таблице 15 [56].

Таблица 15 - Технические характеристики ультразвукового расходомера от фирмы «Encont» типа US-800

Наименование	Значение
Токовый выход	4-20 мА
Интерфейс	RS-485
Питание	24 В
Потребляемая мощность	17 Вт
Рабочие условия	-40...+180 °С
Измерение расхода	до 6500 м ³ /ч
Цена	42480 руб.

Технические характеристики расходомера топлива DFM 100AK (CAN, 485, 232) представлены в таблице 16 [57]. Расходомер топлива DFM 100AK. А - без экрана с выходом: К - нормированный импульсный; CAN - цифровой интерфейс CAN; 485 - цифровой интерфейс RS-485; 232 - цифровой интерфейс RS-232.

Таблица 16 - Технические характеристики расходомера топлива DFM 100AK

Наименование	Значение
Присоединительная резьба	M14x1,5
Номинальное давление	0,2 МПа
Максимальное давление	2,5 МПа
Диапазон напряжения питания	от 10 до 50 В
Напряжение питания	24В
Влажность окружающей среды при температуре 40 °С	<95%
Температура окружающей среды для расходомеров без экрана	от -40 до +80°С
Температура окружающей среды для расходомеров с экраном	от -20 до +60°С

Наименование	Значение
Цена	13877 руб.

Рассмотрим электромагнитный расходомер Метран «Rosemount 8700». Расходомеры электромагнитные серии Rosemount 8700 предназначены для измерений объемного расхода электропроводных жидкостей, пульп, суспензий, буровых растворов и т.п. Используются в системах автоматического контроля и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности, а также в системах коммерческого учета жидкостей. Технические характеристики электромагнитного расходомера Метран «Rosemount 8700» представлены в таблице 17 [66].

Таблица 17 - Технические характеристики электромагнитного расходомера Метран «Rosemount 8732E»

Наименование	Значение
Токовый выход, мА	4-20
Напряжение питания, В	12...42
Потребляемая мощность, Вт	15 Вт
Рабочие условия, °С	-20...+60
Измеряемый объемный расход, м ³ /ч	0,13
Цена, руб	80000

Проведя анализ представленных расходомеров, предпочтительнее будет ультразвуковой расходомер US-800. Данный расходомер удобен в использовании за счет унифицированного выходного сигнала, при этом обладает сравнительно небольшой ценой.

При выборе расходомера для магистрали подачи воздуха, решено было воспользоваться продукцией фирмы Метран. Расходомер должен работать в газообразных средах, иметь аналоговый выходной сигнал и измерять объемный

расход воздуха в пределах от 0 до 0,0224 м³/ч. Данным требованиям подходят вихревые расходомеры Rosemount 8800.

Вихревые расходомеры Rosemount 8800 обладают рядом достоинств:

- уникальная незасоряющаяся конструкция вследствие отсутствия в проточной части пазов и щелей;
- замена пьезоэлектрического сенсора без остановки процесса;
- повышенная устойчивость к вибрации;
- наличие беспроливной (имитационной) поверки;
- встроенная самодиагностика.

Технические характеристики электромагнитного расходомера Метран «Rosemount 8800» представлены в таблице 18 [66].

Таблица 18 - Технические характеристики вихревого расходомера Метран «Rosemount 8800DF»

Наименование	Значение
Токовый выход, мА	4-20
Напряжение питания, В	9...32
Потребляемая мощность, Вт	1
Диапазон температур измеряемой среды, °С	-40...+232
Измеряемый объемный расход, м ³ /ч	93,2
Цена, руб	31105

Аналогом расходомера Метран «Rosemount 8800DF» является вихревой расходомер серии МТ100VХ. Данный расходомер обладает весьма впечатлительными техническими требованиями, но уступает расходомеру фирмы Метран в цене (таблица 19), поэтому отдаем предпочтение расходомеру «Rosemount 8800DF».

Таблица 19 - Технические характеристики вихревого расходомера серии МТ100VX

Наименование	Значение
Токовый выход, мА	4-20
Напряжение питания, В	24
Потребляемая мощность, Вт	1
Диапазон температур измеряемой среды, °С	-40...+250
Измеряемый объемный расход, м ³ /ч	5-11000
Цена, руб	65000

Помимо датчиков расхода также необходимо выбрать топливный насос и компрессор.

Для выбора топливного насоса воспользуемся каталогом дизельных насосов [57]. Насос должен иметь напряжение питания 24 В, подачу не менее 10 л/мин и обладать минимальной ценой. Выбираем насос для дизельного топлива ДВ. Насос самовсасывающий, способен без предварительной заливки прокачать через себя сначала воздух потом топливо, с глубины до 3,5 метров. Технические характеристики насос для дизельного топлива ДВ представлены в таблице 20 [57].

Таблица 20 - Технические характеристики насоса для дизельного топлива ДВ-40 DC24

Наименование	Значение
Подача, л/мин	35
Напряжение питания, В	24
Потребляемая мощность, Вт	120
Напор, м.в.ст	16
Цена, руб.	3900

Аналог вышеприведенного дизельного насоса - насос для дизельного топлива Vodotok НДТ-60л/220В-К-Ч. Характеристики данного насоса приведены в таблице 21 [57].

Таблица 21 - Технические характеристики насоса для дизельного топлива Vodotok НДТ-60л/220В-К-Ч

Наименование	Значение
Напряжение, В	220
Мощность, Вт	500
Максимальное давление, МПа	0,3
Максимальная производительность, л/мин	60
Максимальная высота подъема (напор), м	5
Цена, руб	11 723

Из представленных насосов предпочтение отдаем насосу для дизельного топлива DV-40 DC24 т.к. этот насос предоставляет все необходимые функции по сравнительно низкой цене.

Необходимо также выбрать компрессор для подачи воздуха в камеру сгорания. Рассмотрим масляный компрессор Elitech КПМ 200/24, его характеристики можно найти в таблице 22 [58].

Таблица 22 - Технические характеристики масляного компрессор Elitech КПМ 200/24

Наименование	Значение
Производительность, л/мин	198
Мощность (кВт)	1,5
Тип смазки	масляный
Вес, кг	25
Напряжение, В	220

Наименование	Значение
Тип двигателя	электрический
Рабочее давление, МПа	0,8
Цена, руб	6 190

Аналог данного компрессора - компрессор ARB СКМА24. Воздушные компрессоры ARB изготовлены из высококачественных компонентов, что обеспечивает долгий срок службы и надежность. Характеристики данного компрессора приведены в таблице 23 [59].

Таблица 23 - Технические характеристики компрессор ARB СКМА24

Наименование	Значение
Производительность, л/мин	66
Напряжение питания, В	24
Вес, кг	4,5
Тип двигателя	электрический
Рабочее давление, МПа	0,5...0,7
Цена, руб	5700

Выбираем компрессор ARB СКМА24. Выбор сделан из-за более подходящих параметров и низкой цены.

2.4.4 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм выбираем с помощью крутящего момента и условного диаметра трубопровода.

Максимальный крутящий момент:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338, \quad (5.1)$$

где D_y - условный диаметр трубопровода, мм.

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 60 - 338 = 76 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При выборе учитывалось условие:

$$M_H > M_{\max},$$

где M_H – номинальный крутящий момент на выходном валу ИМ, Н·м.

Выбираем ИМ типа МЭО-100/25-0,25-Р-99. Он снабжен датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Технические характеристики ИМ можно увидеть в таблице 24.

Таблица 24 - Технические характеристики исполнительного механизма МЭО-100/25-0,25-Р-99

Наименование	Значение
Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	100
Номинальное время полного хода выходного вала, с	25
Номинальное значение полного хода выходного вала, об	0,25
Потребляемая мощность, Вт	240
Напряжение питания, В	220
Частота питания, Гц	50
Цена, руб	21648

Имея два регулирующих органа, возникает необходимость выбрать еще один исполнительный механизм.

Максимальный крутящий момент рассчитывается по формуле (5.1):

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 240 - 338 = 1316 \text{ Н·м.}$$

Выбираем ИМ типа МЭО-1600/25-0,25-Р-92К. Он снабжен датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Технические характеристики ИМ можно увидеть в таблице 25.

Таблица 25 - Технические характеристики исполнительного механизма МЭО-1600/25-0,25-Р-92К

Наименование	Значение
Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	1600
Номинальное время полного хода выходного вала, с	25
Номинальное значение полного хода выходного вала, об	0,25
Потребляемая мощность, Вт	490
Напряжение питания, В	380
Частота питания, Гц	50
Цена, руб	76362

Для исполнительных механизмов необходим блок питания БП-10, который производитель советует приобретать в комплекте с МЭО [67]. Технические характеристики БП-10 представлены в таблице 26.

Таблица 26 - Технические характеристики блока питания БП-10

Наименование	Значение
Входное напряжение переменного тока, В	90...264
Входное напряжение постоянного тока, В	110...370
Частота входного переменного напряжения, Гц	47...63
Степень защиты корпуса	IP20
Уровень радиопомех по ГОСТ51257	группа С
Цена, руб	1062

2.4.5 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В качестве блока управления для исполнительного механизма МЭО-100/25-0,25-Р-99 будем использовать интеллектуальный блок серии БУЭР-1-30-02, выполняющий пуск, реверс и остановку однофазных электродвигателей. Технические характеристики БУЭР-1-30-02 представлены в таблице 27 [59].

Таблица 27 - Технические характеристики интеллектуального блока БУЭР-1-30-02

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	220
Частота питания, Гц	50
Входной сигнал от датчика положения, мА	4-20
Цифровой канал обмена с управляющим контроллером	RS-485
Степень защиты корпуса	IP20
Цена, руб	20000

В качестве блока управления для исполнительного механизма МЭО-1600/25-0,25-Р-92К будем использовать интеллектуальный блок серии БУЭР-3-30-02, выполняющий пуск, реверс и остановку однофазных электродвигателей. Технические характеристики БУЭР-1-30-02 представлены в таблице 28 [60].

Таблица 28 - Технические характеристики интеллектуального блока БУЭР-3-30-02

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	380
Частота питания, Гц	50
Входной сигнал от датчика положения, мА	4-20

Цифровой канал обмена с управляющим контроллером	RS-485
Степень защиты корпуса	IP20
Цена, руб	20000

2.4.6 Выбор технических средств ручного управления

В любой системе автоматизированного управления должно быть предусмотрено ручное управление, которое можно использовать при полном отказе микропроцессорного контроллера. Для этого необходимо дополнительно выбрать блок ручного управления и ручной задатчик.

В качестве блока ручного управления выбираем БРУ-42И-03 [70]. БРУ-И переключает цепи управления от контроллера (автоматический режим управления) на ручное управление от кнопок «Больше», «Меньше» на лицевой панели. На лицевой панели установлены четырехразрядный цифровой индикатор, переключатель режимов управления «Автомат» - «Ручное», светодиодные индикаторы режимов работы. Технические характеристики БРУ-42И-03 представлены в таблице 29.

Таблица 29 - Технические характеристики блока ручного управления БРУ-42И-03

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	220
Частота питания, Гц	50
Входной сигнал от датчика положения, мА	4-20
Цифровая связь с пускателем	RS-485
Степень защиты корпуса по передней панели	IP54

Цена, руб	4484
Необходимое количество приборов, шт	2

В качестве ручного задатчика выбираем РЗД 22, т.к. данный задатчик имеет унифицированный выходной сигнал 4-20 мА, что упрощает подключение данного прибора [71]. РЗД-22 используются в автоматизированных системах управления для ручной установки сигналов задания для стабилизирующих регуляторов, преобразует один вид унифицированного сигнала постоянного тока или напряжения в другой. Выполняя все необходимые требования, данный прибор имеет весьма скромную цену. Технические характеристики РЗД 22 представлены в таблице 30.

Таблица 30 - Технические характеристики РЗД-22

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	220
Частота питания, Гц	50
Входной сигнал от датчика положения, мА	4-20
Потребляемая мощность, Вт	4
Цена, руб	2950
Необходимое количество приборов, шт	2

2.4.7 Выбор дополнительного оборудования

В качестве дополнительного оборудования потребуются преобразователь интерфейса RS-232 в RS-485. Данный преобразователь потребуются для подключения к выходному интерфейсу ПЛК Овен 63 (RS-232) персонального компьютера (ПК). Воспользуемся преобразователем ТСС-80 [72], характеристики которого представлены в таблице 31.

Таблица 31 - Технические характеристики преобразователя ТСС-80

Наименование	Значение
Тип входного интерфейса	RS-232
Тип выходного интерфейса	RS-422/485
Скорость передачи данных, бит/с	50 - 115200
Потребление тока, мА	10
Рабочее напряжение, В	5 - 12
Цена, руб	3077

Кроме того, для подключения к контроллеру дополнительного модуля аналоговых сигналов (МВ110-8А), двух блоков управления исполнительным механизмом (БУЭР-1-30-02 и БУЭР-3-30-02) потребуется использование разветвителя интерфейса RS-485. Выбираем ICP DFS I-7513 [73], данный разветвитель позволит получить с одного интерфейса RS-485 три интерфейса RS-485. Технические характеристики данного разветвителя можно найти в таблице 32.

Таблица 32 - Технические характеристики разветвителя ICP DFS I-7513

Наименование	Значение
Тип входного интерфейса	RS-485
Тип выходного интерфейса	RS-485
Количество COM-портов всего, шт	4
Максимальная скорость COM-портов RS-485, бит/с	115200
Тип выходного интерфейса	RS-485
Количество COM-портов всего, шт	4
Максимальная скорость COM-портов RS-485, бит/с	115200
Входное напряжение питания, В	10 ... 30
Потребляемая мощность, Вт	2,2

Цена, руб	4894
-----------	------

Все выбранное оборудование можно найти в спецификации приборов и средств автоматизации с шифром ФЮРА.421000.005 СОЗ.

3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего уровня и полевого

Автоматизированная система управления топливоподачи эмульсии типа «вода в дизеле» в котел, строится по трехуровневому принципу:

- верхний уровень;
- средний уровень;
- нижний уровень.

Основные функции автоматизированной системы управления являются: сбор, обработка, хранение данных, а также предоставление отчетности. Такая система должна работать непрерывно, 24 часа в день и 7 дней в неделю.

АСУ должна быть организована по трехуровневому принципу, с минимизацией участия диспетчеров в технологическом процессе. Также оборудование системы регулирования должно иметь возможность архивации данных о состоянии технологического процесса.

Структурная схема автоматизированной системы управления расходом эмульсии типа «вода в дизеле» представлена на рисунке 15.

Верхний уровень АСУ является автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ). Оборудование АРМ-оператора предназначено для оперативного отражения состояний технологических объектов и оборудования комплекса на экране компьютера, а также предоставляет возможность дистанционного управления оборудованием и задания технологических участков. В составе оборудования может поставляться промышленный компьютер и периферийное оборудование.

Нижний уровень представляет собой совокупность первичных средств измерения температуры и расхода, необходимого для контроля всех технологических параметров топливоподачи. Используются шесть датчиков температур непосредственно в топке котла, а также два датчика температуры в магистрали подачи топлива и воздуха. Установлены два расходомера на магистрали подачи топлива и воздуха.

Средний уровень используется для взаимосвязи нижнего уровня с верхним, выполнен с помощью щита автоматизации. Сигналы с нижнего уровня поступают в щит и далее передаются на верхний уровень управления.

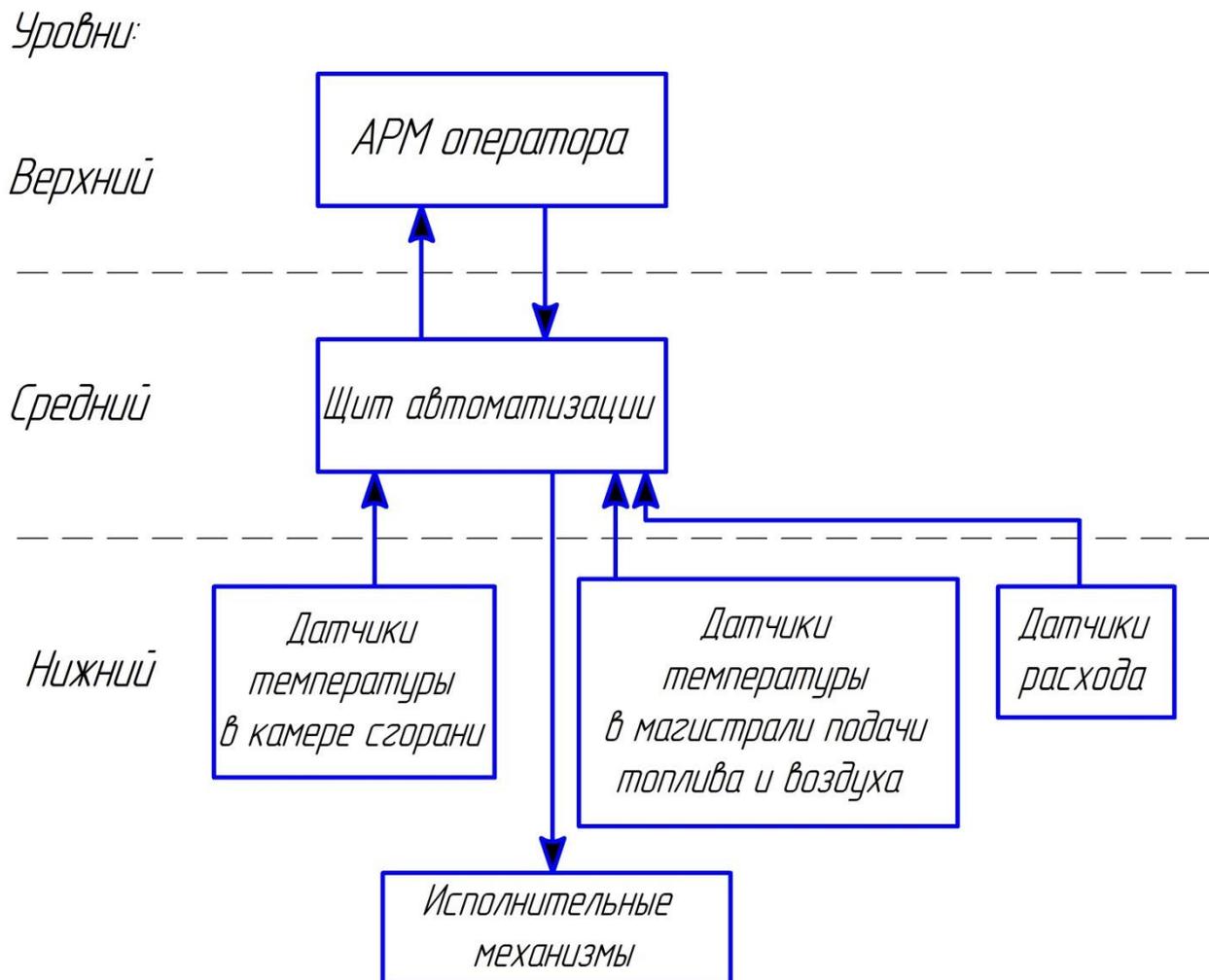


Рисунок 15 – Структурная схема автоматизированной системы регулирования расхода топлива

4 Разработка щита управления АСУ топливоподачи

4.1 Проектирование принципиальной схемы АСУ топливоподачи

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Принципиальные схемы являются основными чертежами для разработки рабочих монтажных чертежей, проведения пусконаладочных работ и квалифицированной эксплуатации этих узлов, устройств и систем электрического принципа действия. Названия принципиальным электрическим схемам присваиваются в соответствии с функциональными принципами действия запроектированной системы. Эти схемы служат также для изучения принципа действия системы, они необходимы при производстве наладочных работ и в эксплуатации.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического текстового материала выбрано для облегчения чтения чертежа. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

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

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

В данном разделе была разработана схема электрическая принципиальная АСУ расхода топливной эмульсии, которая приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.005 Э4.

Чтение принципиальных электрических схем и особенно эксплуатация электрических установок значительно упрощается, если при разработке схем производить обозначение цепей по функциональному признаку в зависимости от их назначения. Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева направо. В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 – 100 и 201-1000, для цепей питания 101 - 200.

Электропитание технических средств осуществляется от распределительного щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц и от распределительного щита питания переменным напряжением 380 В, 50 Гц.

Преобразователь измерительный температуры и влажности (ИПТВ-206А), термопреобразователи универсальные (ТПУ 0304), а также расходомеры (US-800 и Rosemount 8800DF) преобразуют измеряемые величины в унифицированные токовые сигналы 4 – 20 мА, которые поступают на соответствующие входы контроллера А1, подключения средств измерения осуществлено в соответствии с требованием производителя [55]. Кроме того ИПТВ-206А и ТПУ 0304 имеют собственные блоки питания. Для увеличения количества входных аналоговых сигналов установлен модуль (А1.1) MB110–8А фирмы «ОВЕН» [62]. На модуль А1.1 поступают унифицированные сигналы с универсальных термопреобразователей (ТПУ 0304). Связь контроллера А1 с блоком А1.1 происходит с помощью интерфейса RS-485 [61,62], также установлены два шунтирующих резисторов R14 и R9, имеющие сопротивление 100 Ом. Подключение всех датчиков температуры, расходомеров производится с помощью прецизионных резисторов R3-R8 R10-R13, сопротивление которых 500 Ом [60].

Контроллер А1 обрабатывает информацию, полученную с датчиков температуры и расходомеров. На основе программно-заданных алгоритмов формирует управляющий сигнал, который передается на блоки управления БУЭР-1-30-02 и БУЭР-3-30-02 посредством цифрового интерфейса RS-485.

Причем, для согласования линии используются терминальные (концевые) резисторы R1 и R15. Для систем промышленной автоматики сопротивление согласующего резистора выбирается равным 120 Ом, мощность - 0,25 Вт [64]. Резистор ставят на конце или в начале линии.

В соответствии с сигналами управления силовые ключи блока управления БУЭР-1-30-02 и БУЭР-3-30-02 коммутируют цепи нагрузки обмоток электродвигателей исполнительных механизмов МЭО 1600 и МЭО 100, обеспечивая их вращение в соответствующем направлении.

Сигналы обратной связи о положении регулирующих органов микроконтроллер А1 получает с исполнительных механизмов, которые подключен непосредственно к контроллеру А1 по двухпроводной схеме [60].

Также к блокам управления БУЭР-1-30-02 и БУЭР-3-30-02 подключаются блоки ручного управления (БРУ-42И-03) с помощью цифрового интерфейса RS-485. Для согласования линии используются терминальные (концевые) резисторы R2 и R16.

Схема электрическая принципиальная АСУ расхода топливной эмульсии, приведена листе с шифром ФЮРА.421000.005 Э4.

4.2 Проектирование монтажной схемы АСР топливоподачи

Монтажная документация предназначена для выполнения монтажных работ. Эту документацию также используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ. Для сложных систем автоматизации отдельно выполняют монтажные схемы щитов, пультов, внешних электрических и трубных проводок. В нашем случае система не большая, монтажные схемы внешних электрических проводок и щита управления выполнены на одном листе с шифром ФЮРА.421000.005 Э4.

Монтажная документация, разрабатываемая в процессе проектирования систем автоматического регулирования, включает в себя:

- монтажную документацию щитов и пультов;

– монтажную документацию внешних электрических и трубных проводок.

Монтажные схемы показывают, каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных:

- на конструкции;
- за пределами конструкций.

Для разработки монтажной документации используются следующие материалы:

- функциональная схема;
- принципиальная электрическая схема;
- техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации и других средств;
- техническое описание;
- инструкция по эксплуатации;
- общие виды щитовых и других конструкций.

В данной работе необходимо разработать монтажную схему автоматизированной системы регулирования расхода эмульсии типа «вода в дизеле», для этого необходимо выполнить следующие этапы:

- нанести на монтажную схему технические средства автоматизации, в соответствии с принятыми обозначениями;
- выбрать проводки для соединения технических средств;
- произвести нумерацию проводников в соответствие с электрической схемой;
- выполнить подключения средств измерения и управления в шкаф автоматизации.

На схеме вверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации,

устанавливаемых непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

Датчики температуры и исполнительный механизм изображены монтажными символами в соответствии с заводскими инструкциями. При этом, внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним жил кабелей, причем, изображены только используемые клеммы. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа.

Щит управления изображен в виде прямоугольника в нижней части чертежа. В прямоугольнике показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним жилы кабелей и провода с соответствующей маркировкой.

В верхней части чертежа изображены два щита питания, на 220 В и 380 В. Для питания всех необходимых средств автоматизации.

Первичные преобразователи, внешние приборы и шкаф управления соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с помощью электрических кабелей, проводов и жгутов проводов.

Присвоены порядковые номера средств системы автоматизации. Проводники, подключаемые к зажимам и клеммам технических средств, маркированы в соответствии с принципиальной схемой.

К внешним электрическим и трубным проводкам относят такие проводки, которые расположены за пределами щитов и пультов.

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

Для линий питания выбираем кабели с алюминиевыми жилами типа АКРВБГ сечением $2,5 \text{ мм}^2$ с броней из двух стальных оцинкованных лент.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 33 [61].

Таблица 33 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСР

№ линии	Марка	Кол-во жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
24, 1, 10, 31, 30,38	АКРВБГ	4	2,5	15,51
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25,26,27,28, 32, 33, 34, 35	КРВГ	4	1	10,54
11	КРВБГ	10	1	23,7
23	КРВГ	18	1	38,48
29, 36	КИПЭВ	2	0,6	9,2

Для защиты кабелей, которые необходимо протянуть на большие расстояния, применяем защитные трубы. В качестве защиты кабелей выбираем стальные электросварные тонкостенные трубы по ГОСТ 10704-91, которые следует применять в сухих и влажных помещениях, а также при открытой и скрытой прокладке в жарких, пыльных пожароопасных помещениях. Для кабелей линий питания защитные трубы не выбираются, так как кабели изначально бронированные.

Для определения диаметра защитных труб использовался номографический метод, представленный в [65]. Таким образом, защитные трубы выбираем по внешнему диаметру с учетом толщины стенки из стандартного ряда.

Тогда для кабелей КРВГ 4x1, диаметром 10,54 мм, выбираем защитную трубу диаметром $D = 20$ мм с толщиной стенки $\delta = 1$ мм.

Для кабеля КРВГ 10x1, диаметром 23,7 мм, выбираем защитную трубу диаметром $D = 25$ мм с толщиной стенки $\delta = 1,2$ мм.

Для кабеля КРВГ 18х1, 38,48 мм, выбираем защитную трубу диаметром $D = 45$ мм с толщиной стенки $\delta = 2,0$ мм.

Трубные проводки, связывающие объект с датчиками, выберем исходя из параметров среды. Выбираем бесшовные трубы из нержавеющей стали диаметром $D = 14$ мм с толщиной стенки $\delta = 2$ мм.

В щите автоматизации для соединения сборок зажимов с микроконтроллером используем провод с медной жилой и изоляцией из поливинилхлоридного пластиката марки ПВ-1.

Схема монтажная внешних электрических проводок, представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.005 С5.

Контроллер изображен условно сплошной линией в виде упрощенного контура с теми клеммами, которые используются. При входе в щит автоматизации установлен клеммный блок ХТ5, в который входят проводки, передающие унифицированный сигнал от:

- термопреобразователей универсальных;
- расходомеров;
- топливного насоса;
- компрессора;
- измерительного преобразователя температуры.

Все выше перечисленные технические средства подключаются сначала к соединительным коробкам КСК-20 и КСК-12 с помощью кабелей КРВГ 4×1, а далее собираются в единые кабели КРВБГ 18×1 и КРВБГ 10×1 соответственно, которые уже подключаются в щит автоматизации.

Также в щите расположены клеммный блок питания 220 В ХТ6, и клеммный блок ХТ7 перед модулем входа аналоговых сигналов, в который поступают сигналы с универсальных термопреобразователей. Питания модуля аналоговых сигналов осуществляется с помощью блока питания БП30Б-ДЗ-24, который расположен в щите автоматизации.

Для связи контроллера с блоком управления используются кабели симметричной парной скрутки, использующиеся для связи по интерфейсу RS-

485, КИПЭВ 1x2x0,6 в общем экране из алюмолавсановой ленты с контактным проводником. Кабель соответствует строгим требованиям пожарной безопасности, не поддерживает горение при условии одиночной прокладки.

4.3 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР

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

Щиты устанавливаются в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования щит шкафной, односекционный с задней дверью (ЩШ-ЗД) исполнения 2.

Для оперативного контроля за ходом технологического процесса разместим в необходимом и достаточном количестве на щите контроллер и сборки зажимов.

В данном случае для размещения средств автоматизации используем щит с задней дверью одиночный, шириной 500 мм и глубиной 500 мм – ЩШ-ЗД-II-500×500. Фасадная сторона щитов (шкафных и панельных с каркасом) разбита на два (исполнение 1) или на три (исполнение 2) функциональных поля. Разбивка выполнена на основе рационального распределения приборов, органов управления и сигнальной арматуры. При проектировании щитов систем автоматизации технологических процессов рекомендуется в первую

очередь применять щиты исполнения 2. Фасадные панели этого исполнения наиболее технологичны в изготовлении благодаря минимальным размерам и применению автоматизированного процесса пробивки отверстий в них.

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

Блок контроллера 4 рассчитан на утопленный монтаж на вертикальной панели щита управления. Все остальные блоки, блок питания и модуль ввода аналоговых сигналов, рассчитаны на навесной монтаж.

В нижней части панели щита расположены сборки зажимов ХТ5, ХТ6, ХТ7.

На двери щита расположены средства ручного управления (два БРУ-42И-03 и два РЗД 22).

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.005 ВО.

5 Расчет параметров настройки регулятора

5.1 Идентификация объекта управления

Идентификация предназначена для получения математических моделей объекта управления. Существует активная и пассивная, в инженерной практике применяют активную идентификацию (на объект подается специализированное входное воздействие и по реакции объекта при обработке результатов получают математическую модель).

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в топке котла DanVex B60. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. Кривая разгона приведена на рисунке 16.

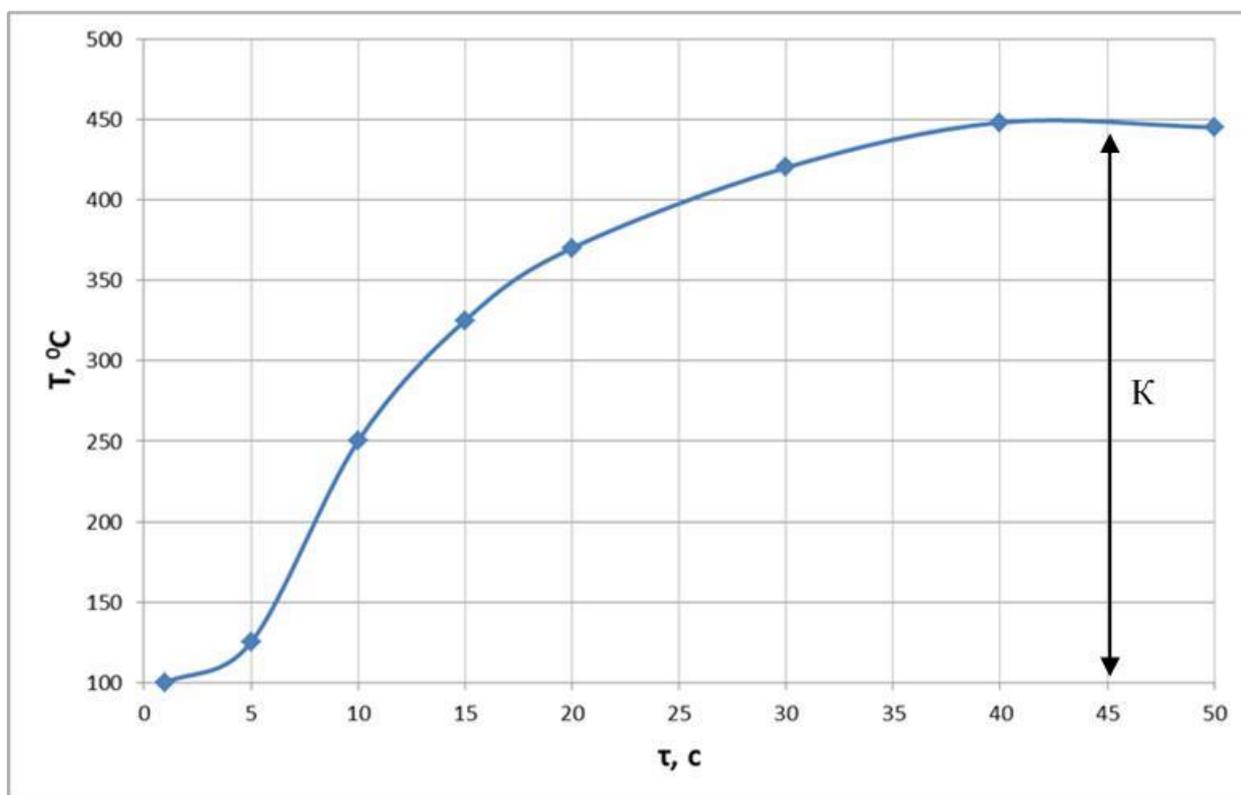


Рисунок 16 – Кривая разгона объекта управления, где τ – время,

T – температура

На полученной переходной характеристике определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени T ; запаздывание t , коэффициент передачи K .

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP + 1)} e^{-P\tau}, \quad (8.1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения (8.1) при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (8.2)$$

Получаем два неизвестных значения времени запаздывания τ и постоянную времени T .

Получаем два неизвестных значения время запаздывания τ и постоянную времени T . Коэффициент усиления $k = \frac{h(T_y)}{A}$, где A – выходное воздействие; при единичном воздействии $k = h(T_y)$. Время чистого запаздывания заранее выделяется из $h(t)$. На кривой разгона строим две точки A и B . Точка A определяется как $0,31 k$, а точка B имеет ординату $0,7 k$. Постоянная времени T и время запаздывания τ определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (8.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (8.4)$$

где t_A и t_B – значение времени при соответствующих точках на кривой;

h_A и h_B – значение ординат при точках A и B .

Определяем расположение на кривой точек A и B и находим необходимые неизвестные параметры.

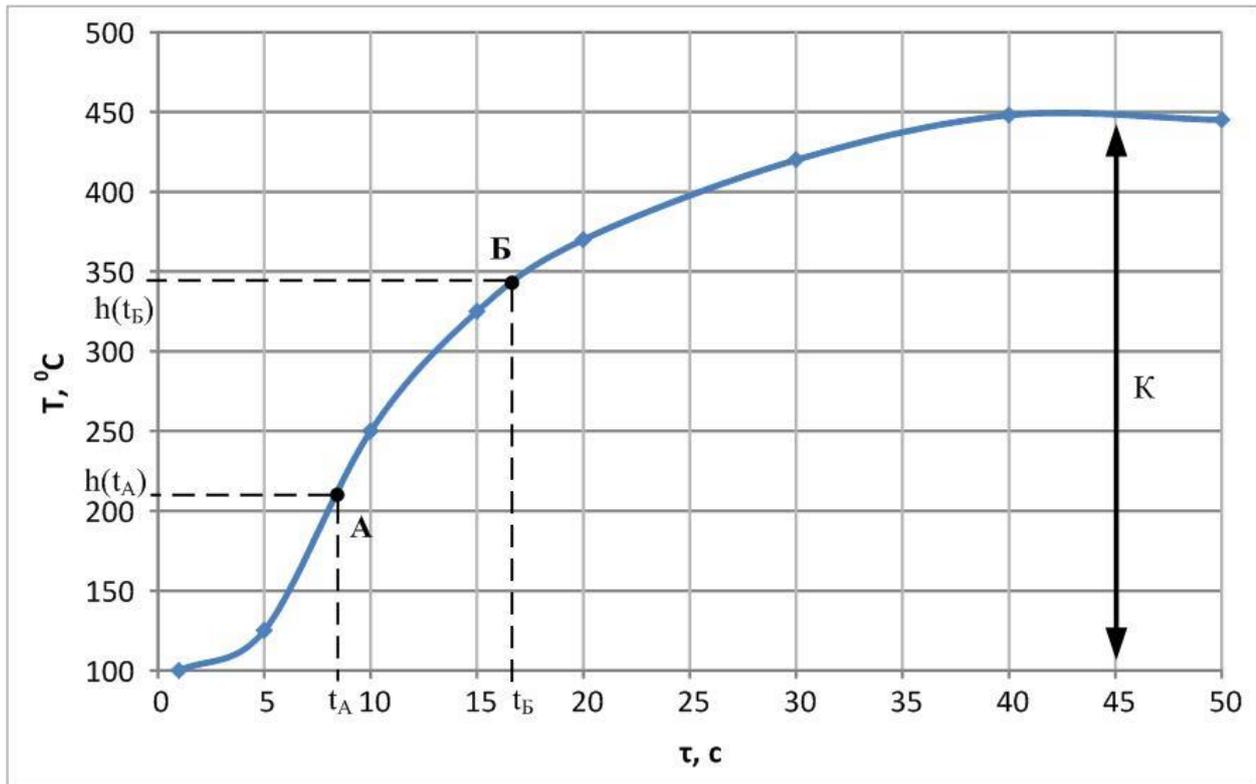


Рисунок 17 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора где τ – время, T – температура

Для наглядности и точности производится аппроксимация кривой по методу Орманна. Определяется время t_B по нормированной переходной функции $H(t)$, которое является корнем уравнения $h(t_B)$ и время t_A и $h(t_A)$. Затем вычисляются постоянная времени T и время запаздывания τ , определяя значения по кривой разгона получаем:

$$\tau = \frac{16,5 \cdot \ln(1 - 0,31) - 8 \cdot \ln(1 - 0,7)}{\ln(1 - 0,31) - \ln(1 - 0,7)} = 4,2 \text{ с,}$$

$$T = -\left(\frac{8 - 4,2}{\ln(1 - 0,31)}\right) = 10,2.$$

Подставив полученные значения в уравнение (8.1) получим конечный вид передаточной функции:

$$W(P) = \frac{350}{(10,2P + 1)} e^{-4,2P}. \quad (8.5)$$

5.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 18 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

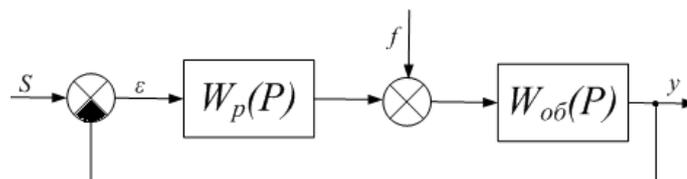


Рисунок 18 – Структурна схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной $\psi=0,75$.

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221. \quad (8.6)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{350}{(10,2P + 1)} e^{-4,2P}. \quad (8.5)$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 34 в виде листинга расчета. Полученные значения представлены для диапазона частот от 0 до $0,054 \text{ с}^{-1}$, с шагом по частоте в $0,0027 \text{ с}^{-1}$.

Таблица 34 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0	350	0	350
0,0027	352,62254	-13,774	352,891
0,0054	354,44946	-27,839	355,541
0,0081	355,44658	-42,131	357,935
0,011	355,58672	-56,579	360,06
0,014	354,85045	-71,111	361,906
0,016	353,22671	-85,651	363,463
0,019	350,71316	-100,121	364,724

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0,022	347,31643	-114,444	365,686
0,024	343,05207	-128,543	366,344
0,027	337,94432	-142,343	366,699
0,03	332,02561	-155,776	366,752
0,032	325,33596	-168,774	366,508
0,035	317,92211	-181,279	365,973
0,038	309,83656	-193,235	365,155
0,041	301,13655	-204,596	364,064
0,043	291,88287	-215,324	362,712
0,046	282,1388	-225,386	361,111
0,049	271,96892	-234,76	359,276
0,051	261,43812	-243,428	357,222

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (8.7)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (8.8)$$

где T_u – постоянная интегрирования регулятора,

K_p – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0 до 0,05 с^{-1} , с шагом по частоте в 0,025 с^{-1} , Полученные значения представлены в таблице 35 в виде листинга расчета.

Таблица 35 – Значение параметров ПИ – регулятора

ω, c^{-1}	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0	-0,002857	0
0,025	-0,002328	0,0000258023
0,05	-0,001665	0,0000978047
0,075	-0,0008938	0,00021
0,1	-0,00004092	0,00034
0,125	0,0008674	0,00049
0,15	0,001805	0,00064
0,175	0,002745	0,00077
0,2	0,003664	0,00088
0,225	0,004537	0,00095
0,25	0,005344	0,00098
0,275	0,006064	0,00095
0,3	0,006681	0,00085
0,325	0,00718	0,00068
0,35	0,007549	0,00043
0,375	0,007779	0,00011
0,4	0,007864	-0,00029
0,425	0,0078	-0,00076
0,45	0,007587	-0,00129
0,475	0,007228	-0,00189

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 19. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,75. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания,

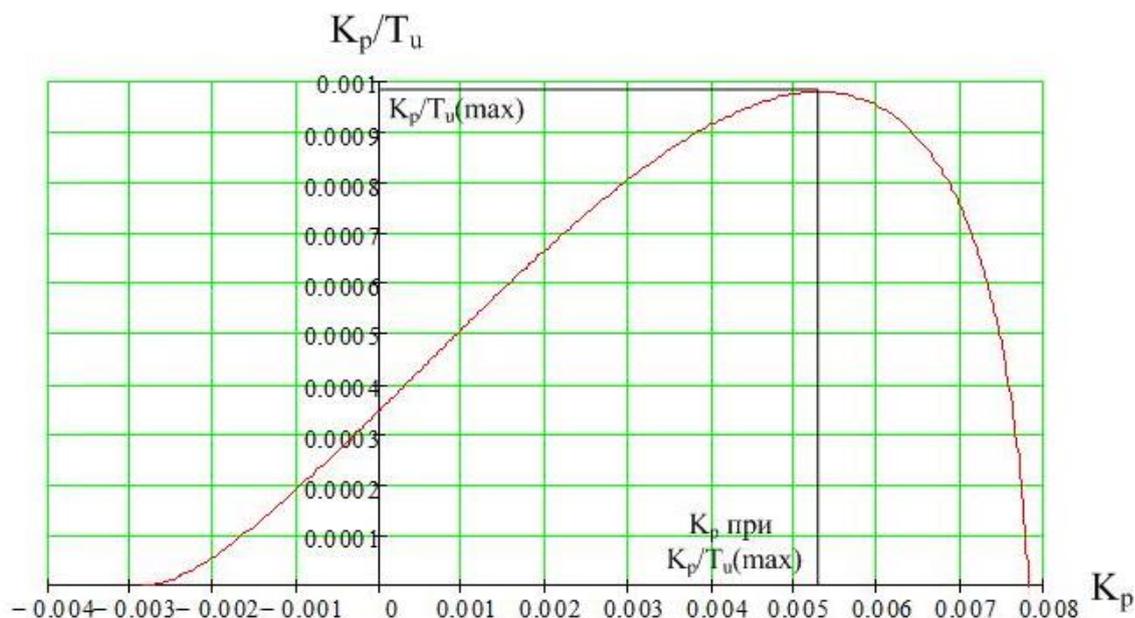


Рисунок 19 – Параметры настройки ПИ-регулятора

В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка, Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением соотношения K_p/T_u на линии заданного запаса устойчивости,

Из таблицы 35 определяем:

$$\max \left(\frac{K_p}{T_u} \right) = 0,00098, \quad K_p = 0,005344, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,25 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u}, \quad (8.9)$$

$$T_u = \frac{0,005344}{0,00098} = 5,5 \text{ с.}$$

Произведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе при возмущении, которое идет по каналу регулирующего воздействия,

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (8.10)$$

где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора,

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

Переходный процесс идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия рассчитывается по методу трапеций, Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы, На рисунке 20 представлен график вещественной частотной характеристики.

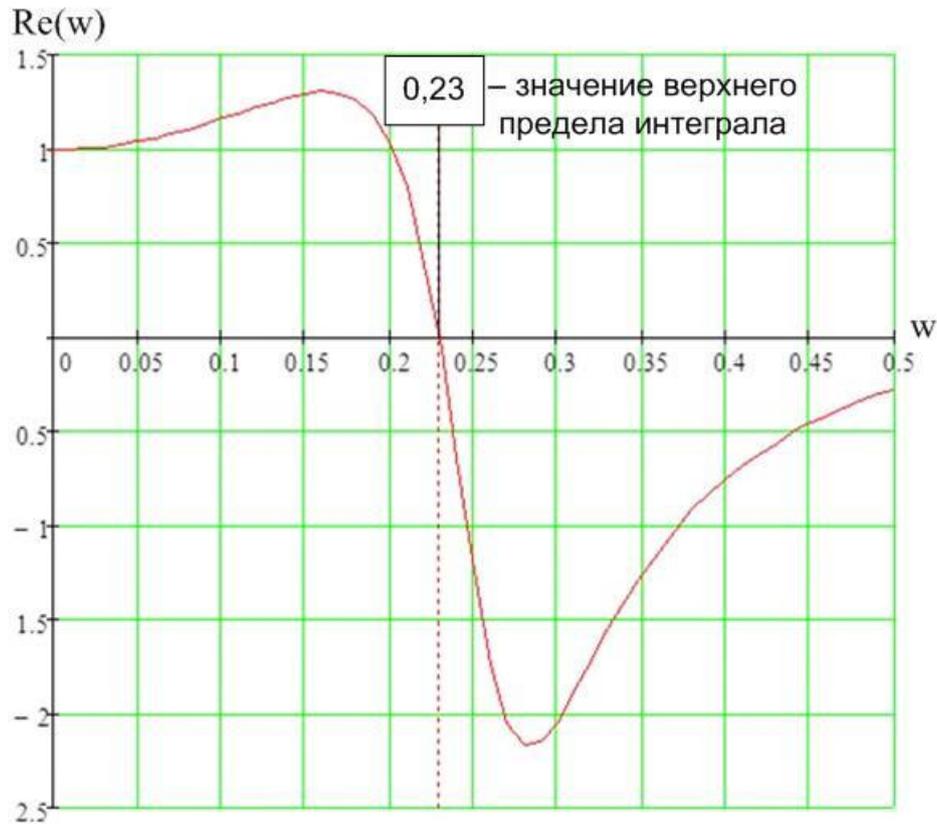


Рисунок 20 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (8.11)$$

где $Re(\omega)$ – вещественная частотная характеристика системы,

ω - частота,

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение при котором вещественная частотная характеристика системы стремится к 0 (Это значение определяем по рисунку 20).

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,23} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (8.12)$$

На рисунке 21 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия, С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования.

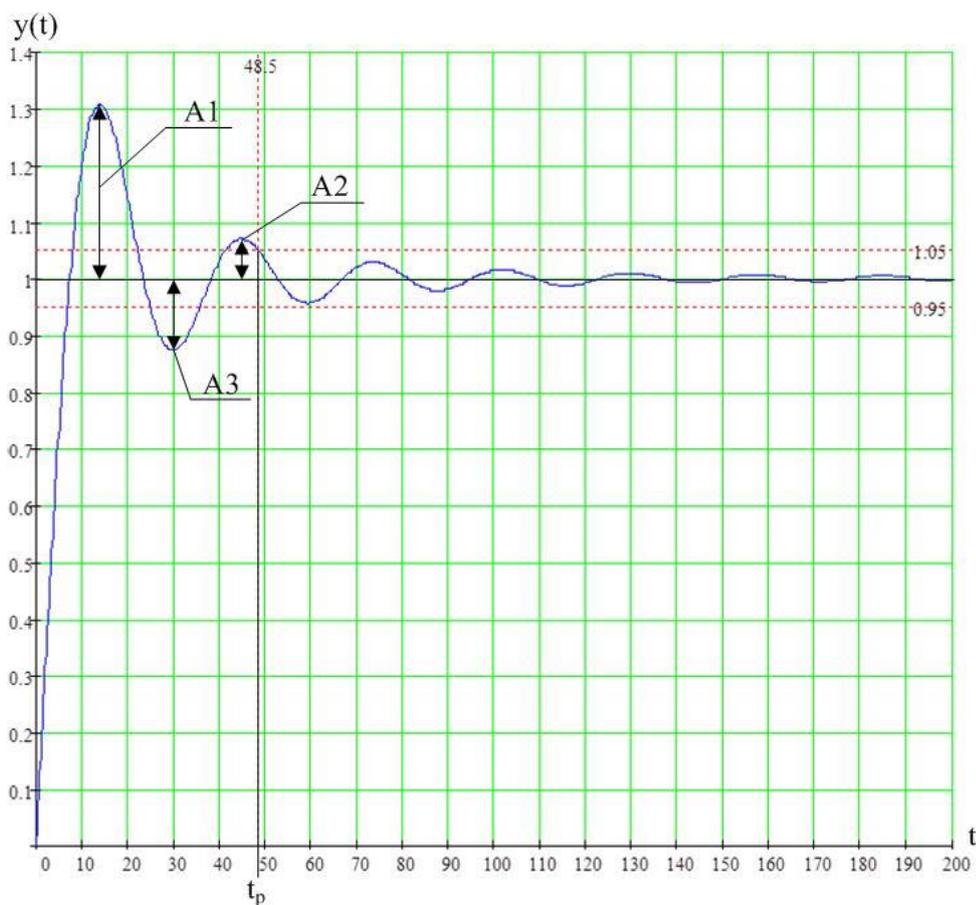


Рисунок 21 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

- максимальная динамическая ошибка: $A_1=0,307$;

– перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100, \quad (8.13)$$

где $A_3 = 0,127$ – первое минимальное отклонение регулируемой величины;

$$\sigma = \frac{0,127}{0,307} \cdot 100\% = 41,4\% ,$$

– динамический коэффициент регулирования R_d :

$$R_d = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100, \quad (8.14)$$

где $K_{об} = 350$ – коэффициент передачи объекта.

$$R_d = \frac{0,307 + 1}{350} \cdot 100\% = 0,37\% ,$$

– степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1}, \quad (8.15)$$

где $A_2 = 0,07$ - второй максимальный выброс регулируемой величины.

$$\psi = 1 - \frac{0,07}{0,307} = 0,77 ,$$

– статическая ошибка: $\varepsilon_{CT} = y(\infty) = 0$,

– время регулирования: $t_p = 48,5$ с.

6 Мнемосхема проекта

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

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

1) мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом;

2) отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;

3) форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствии с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема процесса сжигания эмульсии типа «вода в дизеле» в камере сгорания водогрейном котла DanVex B60, которая приведена на рисунке 23.

На данной мнемосхеме условно показана камера сгорания, в которой установлено 6 датчиков температур. Кроме того, показаны магистраль подачи топлива и магистраль подачи воздуха, в которых измеряется температура и расход в трубопроводе. Также на условных панелях есть индикаторы работы и отказа (аварии) условных насосов. Мнемосхема, представленная на рисунке 23, включает в себя другую мнемосхему, которая отражает изменение температуры в режиме реального времени (рисунок 24).

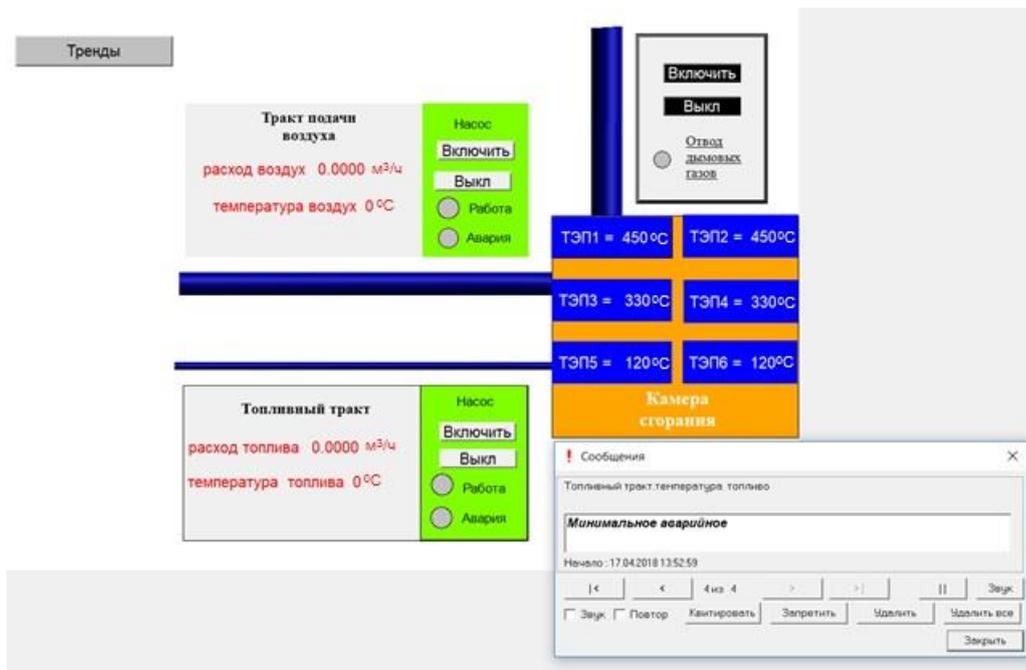


Рисунок 22 – Стартовая мнемосхема

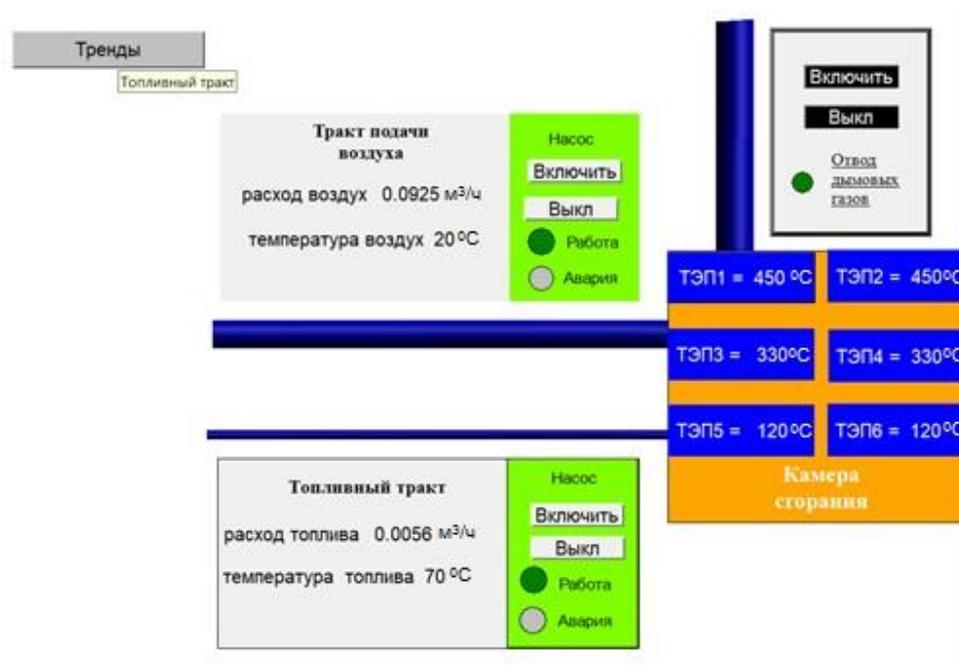


Рисунок 23 – Мнемосхема с включенными насосами

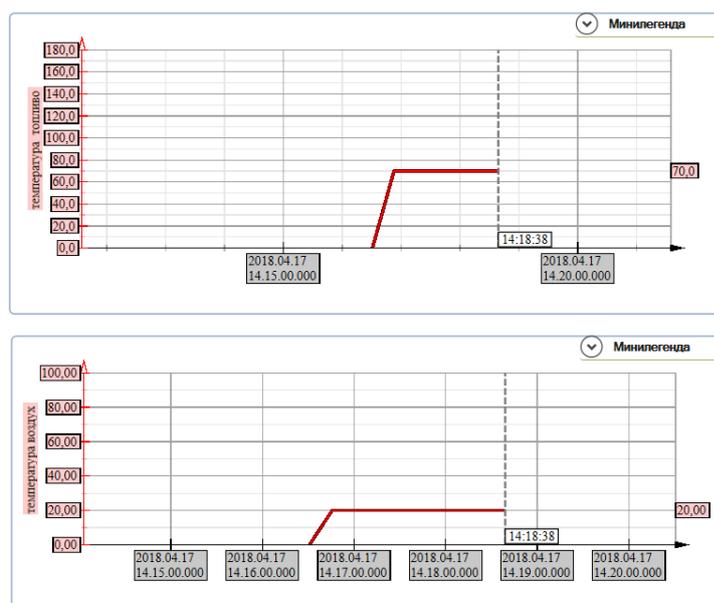


Рисунок 24 – Вторая мнемосхема с изображением трендов температур

При достижении какого-либо показателя предупредительного или аварийного значения, появляется соответствующее табло, которое оповещает об этом.

Данная работа выполнялась с помощью таких программных средств, как Codesys и Masterscada. Поэтому параметры мнемосхемы могут изменяться как с помощью одной программной среды, так и с помощью другой.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Гавриленко Алексей Юрьевич

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Цена дизельного топлива составляет 37 руб/кг. Цена эмульсии типа «вода в дизеле» составляет 30 руб/кг.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>На=20%</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления в социальные фонды 30 % от ФЗП</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Планирование работ и временная оценка их выполнения</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Смета затрат на проект</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Смета затрат на оборудование</i>
	<i>Оценка экономической эффективности</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2018
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения социально-гуманитарных наук	Кузьмина Наталия Геннадьевна			23.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Гавриленко Алексей Юрьевич		23.04.18

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью использования эмульсии типа «вода в дизеле» вместо традиционного дизельного топлива стало повышение эффективности работы водогрейного котла. Кроме того применение данного, только входящего в сферу общего пользования, топлива приводит к значительному уменьшению выбросов в атмосферу.

Для выполнения данной задачи необходимо:

- составить перечень работ и оценить время их выполнения;
- составить смету затрат на проект;
- составить смету затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта;
- определить экономическую эффективность проекта.

7.1 Планирование работ и оценка времени выполнения

Для оценки времени выполнения проекта необходимо составить перечень всех выполняемых работ и время, затраченное на выполнения работ.

В таблице 36 представлены все виды выполняемых работ и время, затраченное на их выполнение.

Таблица 36 – Перечень работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
Получение задания	Инженер	1
	Научный руководитель	
Обзор литературы, связанной с созданием и поведением при нагреве эмульсии типа «вода в дизеле»	Инженер	5

Продолжение таблицы 36

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
Проведение экспериментальных исследований по созданию эмульсии типа «вода в дизеле»	Инженер	7
Планирование экспериментальных исследований по нагреву эмульсии типа «вода в дизеле»	Инженер	6
Сборка установки и настройка системы	Инженер	3
Проведение экспериментальных исследований, направленных на поведение эмульсии типа «вода в дизеле» при нагреве	Инженер	21
	Научный руководитель	5
Анализ результатов исследования	Инженер	10
Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	Инженер	9
Разработка принципиальной электрической схемы	Инженер	8
Разработка монтажной схемы и щита управления	Инженер	7
Разработка схемы взаимодействия уровней управления	Инженер	1
Проектирование мнемосхемы	Инженер	7
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	6
Утверждение ВКР	Инженер	5
	Научный руководитель	4
Итого	Инженер	96
	Научный руководитель	10

7.2 Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (10.1)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

7.2.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на закупку материалов для построения экспериментальной установки. Величину этих затрат принимаем 1000 руб.

7.2.2 Затраты на амортизацию

Амортизация оборудования – процесс переноса по частям стоимости основных средств и нематериальных активов по мере их физического или морального износа на стоимость производимой продукции.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (10.2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{96}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1578 \text{ руб./год.}$$

7.2.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата является основным источником стимулирования и дохода работающих на предприятии. Она составляет часть общественного продукта, которая в денежной форме выдается работнику в соответствии с количеством и качеством затраченного труда.

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \quad (10.3)$$

где $ЗП_{инж}^{\phi}$ – фактическая заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^{\phi}$ – заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад участников проекта определяется по следующей формуле:

$$ЗП_{инж}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2; \quad (10.4)$$

где $ЗП_0$ – месячный оклад (инженер 10000 руб., научный руководитель 17000 руб.);

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 – районный коэффициент равен 1,3 (10%).

Для инженера:

$$ЗП = 10000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 14300 \text{ руб.}$$

Для научного руководителя:

$$ЗП = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}; \quad (10.5)$$

где $ЗП_{мес}$ – месячная заработная плата;

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} – фактическое число дней в проекте.

Инженер:

$$ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{10000}{21} \cdot 96 = 45710 \text{ руб.}$$

Научный руководитель

$$ЗП_{\text{нр}}^{\phi} = \frac{17000}{21} \cdot 10 = 8095 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{з/пл}} = 45710 + 8095 = 53800 \text{ руб.}$$

7.2.4 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды – это элемент себестоимости продукции, работ или услуг, в котором отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством нормам государственного социального страхования в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг) по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{соц/н}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3; \quad (10.6)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 53800 \cdot 0,3 = 16140 \text{ руб.}$$

7.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1; \quad (10.7)$$

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1578 + 53800 + 16140) \cdot 0,1 = 7252 \text{ руб.}$$

7.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на хозяйственное обслуживание производства и управление предприятием, являющиеся дополнительными к основным затратам и наряду с ними включаемые в издержки производства.

Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2; \quad (10.8)$$

$$K_{\text{накл}} = 53800 \cdot 2 = 107600 \text{ руб.}$$

В таблице 37 представлена смета затрат на проект.

Таблица 37 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1578
Затраты на заработную плату	53800
Затраты на социальные нужды	16140
Прочие затраты	7252
Накладные расходы	107600
Итого:	187400

7.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 38 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 38 – Затраты на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК Овен 63	12390	1
Модуль аналоговых сигналов с блоком питания	7906	1
Измерительный преобразователь температуры	17000	1

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
Термопреобразователь универсальный (ТПУ)	10800	7
Блок питания (БП96)	3000	2
Расходомер электромагнитный	42480	1
Расходомер вихревой	31105	1
Насос для топлива	3900	1
Компрессор	5700	1
Исполнительный механизм (МЭО-100)	21648	1
Исполнительный механизм (МЭО-1600)	76362	1
Блок питания (БП-10)	1062	2
Блок управления	20000	2
Блок ручного управления (БРУ 42)	4484	2
Ручной задатчик (РЗД 22)	2950	2
Преобразователь интерфейса	3077	1
Разветвитель	4894	1
Провод КИПЭВ 2х0,6	180	1
Провод КРВГ 4х1	1580	1
Провод КРВГ 10х1	2600	1
Провод АКРВБГ 4х2.5	3500	1
Компьютер	30000	1
Итого	402900	32

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 20 % от суммы затрат на технические средства:

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot K_{\text{обор}}; \quad (10.9)$$

где $K_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование.

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 402900 = 80580 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на оборудование, монтажные работы и транспортировку:

$$K_{\text{итог}} = K_{\text{обор}} + K_{\text{монт}}; \quad (10.10)$$

$$K_{\text{итог}} = 402900 + 80580 = 483500 \text{ руб.}$$

7.4 Определение экономической эффективности проекта

Расчет экономической эффективности применения эмульсии типа «вода в дизеле» определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = W_{\text{б}} \cdot C_{\text{б}} - W_{\text{н}} \cdot C_{\text{н}}; \quad (10.11)$$

где $W_{\text{б}}$ – годовой расход базового топлива;

$W_{\text{н}}$ – годовой расход нового топлива;

$C_{\text{б}}$ – цена базового топлива;

$C_{\text{н}}$ – цена нового топлива.

Годовой расход топлива рассчитывается по следующей формуле:

$$W_{\text{T}} = Q_{\text{T}} \cdot K_{\text{N}} \cdot K_{\text{t}} \cdot T_{\text{Г}}; \quad (10.12)$$

где $K_{\text{t}}, K_{\text{N}}$ – коэффициенты загрузки водогрейного котла по мощности и времени ($K_{\text{t}} = 0,86; K_{\text{N}} = 0,75$);

Q_{T} – часовой расход топлива, кг (для базового топлива это значение составляет 13,5 кг, для нового топлива 16,4 кг) [74];

$T_{\text{Г}}$ – годовая наработка, час.

Подставим в формулу (10.11) зависимости для расчета годового расхода базового и нового топлива, получим:

$$\mathcal{E} = Q_{\text{Tб}} \cdot K_{\text{N}} \cdot K_{\text{t}} \cdot T_{\text{Г}} \cdot C_{\text{б}} - Q_{\text{Tн}} \cdot K_{\text{N}} \cdot K_{\text{t}} \cdot T_{\text{Г}} \cdot C_{\text{н}}$$

или

$$\mathcal{E} = K_{\text{N}} \cdot K_{\text{t}} \cdot T_{\text{Г}} \cdot (Q_{\text{Tб}} \cdot C_{\text{б}} - Q_{\text{Tн}} \cdot C_{\text{н}}) \quad (10.13)$$

Стоимость базового (дизельного) топлива составляет 37 руб/кг. Себестоимость нового топлива, если взять расчетную рыночную стоимость эмульсии типа «вода в дизеле» 30 руб/кг. Исходя из того, что отопительный сезон составляет 100 суток. Годовую наработку водогрейного котла примем равной 2400 часов.

Подставим в формулу (10.13) исходные данные, получим значение годового экономического эффекта от применения эмульсии типа «вода в дизеле» на один водогрейный котел:

$$\mathcal{E} = 0,86 \cdot 0,75 \cdot 2400 \cdot (13,5 \cdot 37 - 16,4 \cdot 30) = 11610 \text{ руб.}$$

В данном разделе был проведен расчет проекта по переводу водогрейного котла DanVex B60 на эмульсии типа «вода в дизеле».

Использование такого проекта будет являться экономически эффективным, поскольку показатель экономической эффективности составляет 11 610 рублей в отопительный сезон.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Гавриленко Алексей Юрьевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и область его применения	Создание автоматизированной системы подачи эмульсии типа «вода в дизеле» в камеру сгорания водогрейного котла.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности.	– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства). – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).
2. Экологическая безопасность.	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового

	законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		23.04.18г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Гавриленко Алексей Юрьевич		23.04.18г.

8 Социальная ответственность

Социальная ответственность – сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач, норм и ценностей, понимание последствий осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества. В большей части годовых отчетов корпораций обычно указывается, что сделано компанией для продолжения образования, помощи национальным меньшинствам, сколько средств передано сфере искусства и ведомствам социальной помощи, а также направлено на улучшение социальных условий в целом. Концепция социальной ответственности используется инвесторами при выборе компаний, наиболее подходящих их сотрудникам, не загрязняющих окружающую среду и не производящих оружия, а изготавливающих нужную людям продукцию. Социальная ответственность подразделяется на индивидуальную и корпоративную. Корпоративная социальная ответственность — это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы, а индивидуальная возлагает на себя ответственность за деяние одного человека.

К социальным вопросам на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

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

В данной работе была спроектирована система сжигания эмульсии типа «вода в дизеле» в водогрейном котле DanVex B60. Система предполагает

установку в котельных, и работу в полуавтоматическом режиме. Использование данной системы на практике является актуальным, так как при применении эмульсии типа «вода в дизеле» снизится стоимость на производимое тепло, а также уменьшится количество выбросов в атмосферу. Пользователями данной системы могут выступать частные предприниматели, а также государство. При переводе стандартной районной котельной на АСУ, работающую на эмульсии типа «вода в дизеле», уменьшится количество необходимого персонала и снизится стоимость тепловой энергии. Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который будет отслеживать расход эмульсии в топку котла и осуществлять обслуживание системы. При выполнении этих работ на оператора могут воздействовать следующие вредные факторы:

- 1) повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- 2) повышенная влажность;
- 3) повышенная загазованность воздуха;
- 4) недостаточная освещенность рабочего места;
- 5) физические перегрузки;
- 6) воздействие открытого огня.

8.1 Производственная безопасность

8.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Как известно, котельные не работают в полном объеме в летнее время года. Вся нагрузка приходится на зимний период времени. Весной и осенью нагрузка одинакова. При работе котельной на дизельном топливе, возникает большое количество выбросов NO_2 вместе с дымовыми газами. Эти показатели значительно снизятся при использовании эмульсии типа «вода в дизеле». Выбросы вредных веществ также снизятся, при правильном регулировании расхода топлива и воздуха.

Котлоагрегат на эмульсии представляет опасность, как и котлы на привычных видах топлив, таких как дизельное топливо. Опасным фактором,

при использовании котла, является количество выбросов, как в атмосферу, так и в помещение, где установлен агрегат. Для уменьшения количества концентрации выбросов проводят операции: установка очистительного оборудования для дымовых газов, герметизация технологических отверстий котельного агрегата, добавление, способствующих снижению концентрации выбросов, составляющих топлива.

Так как для сжигания топлива необходимы высокие температуры, то в помещении, где установлен котел, нужна вентиляция, для обеспечения нормальных условий работы персонала. Также вентиляция позволит решить проблему повышенной влажности. Для защиты от высокой температуры, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда.

Шум ухудшает условия труда, оказывая воздействие на организм человека. Процесс подачи топливоздушнoй смеси является шумным, так как необходимо создавать высокое давление.

8.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве

При монтаже котельного агрегата необходимо руководствоваться инструкцией производителя, так как такой агрегат является опасным производственным объектом. Установка топливных и воздушных форсунок должна производиться в соответствии с требованиями, так как давление подачи топливоздушнoй смеси большое, и неправильный монтаж может привести к взрыву агрегатов и приборов. Также при монтаже технических средств автоматизации важна электробезопасность.

8.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

Для предотвращения ожога при работе возле котельного агрегата необходима специализированная одежда, и выполнение техники безопасности для котельной.

Для предотвращения возможности поражения электрическим током был проведен ряд мероприятий, а также соблюдаются требования:

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

Для уменьшения воздействия шума на организм человека были проведены следующие мероприятия:

- ослаблен шум в самих источниках: в электрических машинах, механизмах и других устройствах;
- проверена точность сборки деталей при ремонте;
- предотвращена работа с перегрузкой и обрыв одной фазы электродвигателей, что обычно приводит к шуму.

Для уменьшения загазованности и влажности в помещении устанавливается вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно, кроме летнего периода времени, что связано с остановкой котельной.

8.2 Экологическая безопасность

Загрязнение (окружающей среды, природной среды, биосферы) — это привнесение в окружающую среду (природную среду, биосферу) или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических

или биологических агентов (загрязнителей), или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

8.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

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

Наибольшую опасность для биосферы и для здоровья человека представляют не имеющие средств очистки дымовых газов многочисленные теплоисточники малой мощности, размещаемые, как правило, в пределах небольших населенных пунктов.

8.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду

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

Негативное влияние вредных компонентов на здоровье населения, флору и фауну, объекты и сооружения не ограничивается территорией, прилегающей к источникам выбросов, а распространяется на сотни и тысячи километров. Поэтому в настоящее время загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

8.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения количество выбросов необходимо контролировать расход воздуха в топку котла. Ведь при нехватке окислителя, возникает большой недожог, что приводит к увеличению количества отходов процесса сжигания топлива. А при избытке воздуха образуются оксиды азота.

Регулирование температуры в топке котла является одним из важных аспектов в системе топливо сжигания, так как наибольшее влияние на образование оксида азота оказывает температура. С ее ростом от 150 до 500 °С выход оксида азота увеличивается примерно в 10 раз, в то время как пятикратное увеличение концентрации кислорода повышает выход NO₂ лишь в 2 раза.

Таким образом, для снижения выбросов токсических веществ в атмосферу и повышения энерго-экологической эффективности теплоэнергетики реализуются несколько направлений, среди которых можно выделить выполнение природоохранных мероприятий; использование мероприятий по энергосбережению; внедрение экологического мониторинга; стимулирование развития научных исследований и практического применения новейших научных достижений и научно-технических разработок.

8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

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

- 1) укрытие в защитных сооружениях;
- 2) проведение эвакуационных мероприятий;

3) использование средств индивидуальной защиты.

При работе котельной могут возникнуть некоторые чрезвычайные ситуации. Например, воспламенение котельной и прилегающей к ней территории. Опасность представляет сам котлоагрегат и топливомагистраль.

8.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

В котельной наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо хранить для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние топлива путем внешнего осмотра и измерения его температуры. Признаками самовозгорания являются повышение температуры.

Самой распространенной причиной возникновения пожара в котельных является нарушение противопожарных правил. Поэтому обслуживающий персонал должен эти правила хорошо знать и выполнять.

8.3.2 Действия при возникновении пожара.

Независимо, где произошел пожар, при поступлении звукового сигнала о пожаре и дублирующего голосового сигнала, оповещающего «Пожар, просьба покинуть помещения», студент обязан:

- при наличии или отсутствии задымления в коридоре, студент должен незамедлительно определиться с путями эвакуации студентов из учебной аудитории, согласно плану эвакуации (рисунок 25). Приоткрыв дверь, ведущую в общий коридор убедиться, что пути эвакуации не отрезаны огнем и дымом.

При выходе из здания, вы должны обязательно сообщить на вахту учебного корпуса о количестве студентов покинувших аудиторию и номере аудитории.

8.3.3 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве

При установке оборудования автоматизации, особое требование предъявляется к качеству монтажа технических средств. Некачественный монтаж может привести к утечке горячего топлива или воздуха, что может стать причиной возгорания. Поэтому такой монтаж производят слесари КИПиА с разрядом не ниже 4, ведь от их квалификации и качества выполнения монтажных работ зависят жизни людей. Помимо риска обслуживающего персонала, существует риск оставить людей в зимний период времени без теплоснабжения, что приведет к серьезным последствиям.

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

Были проведены следующие противопожарные мероприятия:

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

- каждый сотрудник знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения. Помещение обеспечено следующими средствами пожаротушения:

- аэрозольный огнетушитель - генератор огнетушащего аэрозоля «Допинг 2» – 1 шт;
- углекислотный огнетушитель ОУ-5 - 1 шт;
- ящик с песком на 0,5 м - 1 шт;

- железные лопаты - 2 шт.

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

8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция, т. е. законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей. Существуют принятые нормы в области охраны труда:

- на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат производственной деятельности предприятия;
- единые нормативные требования по охране труда;
- защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве.

8.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Оператор котельный обязан проходить инструктаж по технике безопасности раз в 3 месяца, также соблюдать правило пожарной безопасности, не оставляя котел без присмотра. Предприятие, к которому относится котельная, должно обеспечить оператора спецодеждой, спецобувью и другими средствами защиты. Остановка котла во всех случаях, кроме аварийной остановки, должна производиться после получения на это распоряжения администрации предприятия. В конце рабочего дня оператору необходимо сдать дежурство, сделав отметку в журнале. Также, оператору должны выдаваться средства индивидуальной защиты дыхательных путей.

8.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Каждый работник имеет право на охрану труда, в том числе:

- на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов;

- на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей;

- на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

Также, для комфортной работы помещение должно соответствовать нормам освещения. Рабочее место должно быть оснащено обеденным местом и средствами гигиенического ухода.

8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

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

Преимуществом данной разработки является автоматизация топлива подачи в котельной. Автоматизированная система уменьшит количество обслуживающего персонала в отличие от привычной котельной. С экологической точки зрения перевод котельной на эмульсии типа «вода в дизеле» способствует уменьшению концентрации выбросов при сжигании в котлоагрегате, в сравнении с дизельным топливом, что показано в разделе исследовательские изыскания.

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

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;

- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве;

- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;

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

– отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

Социальная роль разработки АСУ подачи эмульсии типа «вода в дизеле» снижение пагубных факторов на окружающую среду и снижение тарифа на горячую воду для населения.

Заключение

В рамках данного дипломного проекта была разработана автоматизированная система сжигания эмульсии типа «вода в дизеле». Спроектированная система удовлетворяет техническим требованиям, предъявляемым к системе. Все технические средства подбирались так, чтобы они удовлетворяли все необходимые требования, при этом имели невысокую цену. АСУ оснащена средствами ручного управления. Система способна осуществлять сбор данных о текущих параметрах системы и передавать все сведения АРМ-оператору, который в свою очередь следит, чтобы параметры находились в пределах нормы. Кроме того система полностью удовлетворяет требованиям безопасности.

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

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

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

Также выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором производился расчет экономической эффективности перевода водогрейного котла с дизельного топлива на эмульсию типа «вода в дизеле». Выгода с перевода котла на новый вид топлива составила 11610 руб., что говорит о перспективах использования эмульсии типа «вода в дизеле» в повседневной жизни.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Sazhin, S.S. Modelling of fuel droplet heating and evaporation: Recent results and unsolved problems (2017) *Fuel*, 196, pp. 69-101.

2 SA Kalogirou, Seawater desalination using renewable energy sources, *Prog. Energy Combust. Sci.* 31 (63) (2005) 242–281.

3 MA Shannon, PW Bohn, M Elimelech, JG Georgiadis, BJ Mariñas, AM Mayes, Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature* 452 (2008) 301–310.

4 RJ Romero, A Rodríguez-Martínez, Optimal water purification using low grade waste heat in an absorption heat transformer, *Desalination* 220 (1–3) (2008) 506–513.

5 Strizhak P.A., Volkov R.S. The integral characteristics of the deceleration and entrainment of water droplets by the counter flow of high-temperature combustion products // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016. V. 75. P. 54–65.

6 Volkov R.S., Strizhak P.A. Motion of water droplets in the counter flow of high-temperature combustion products // *Heat Mass Transfer*. 2017. P. 1–15. 10.1007/s00231-017-2121-5.

7 Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A. How to improve efficiency of using water when extinguishing fires through the explosive breakup of drops in a flame: Laboratory and field tests // *International Journal of Thermal Sciences*. 2017. V. 121. P. 398–409.

8 Suzuki, Y., Harada, T., Watanabe, H., Shoji, M., Matsushita, Y., Aoki, H., and Miura, T., 2011. Visualization of aggregation process of dispersed water droplets and the effect of aggregation on secondary atomization of emulsified fuel droplets. *Proc. Comb. Inst.* 33-2, 2063–2070. doi: 10.1016/j.proci.2010.05.115.

9 Tarlet, D., Josset, C., Bellettre, J., 2016. Comparison between unique and coalesced water drops in micro-explosions scanned by differential calorimetry. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 95, 689–692. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.12.054.

10 Watanabe, H., Harada, T., Matsushita, Y., Aoki, H., Miura, T., 2009. The characteristics of puffing of the carbonated emulsified fuel. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 52, 3676–3684. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.02.033.

11 Z. Yin, P. Nau, W. Meier. Responses of combustor surface temperature to flame shape transitions in a turbulent bi-stable swirl flame. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2017. Vol. 82. Pp. 50–57.;

12 P. Nau, P. Kutne, G. Eckel, W. Meier, C. Hotz, S. Fleck. Infrared absorption spectrometer for the determination of temperature and species profiles in an entrained flow gasifier. *Applied Optics*. 2017. Vol. 56, Iss. 11. Pp. 2982–2990.

13 K. Warncke, S. Gepperth, B. Sauer, A. Sadiki, J. Janicka, R. Koch, H.-J. Bauer. Experimental and numerical investigation of the primary breakup of an airblasted liquid sheet. *International Journal of Multiphase Flow*. 2017. Vol. 91. Pp. 208–224.

14 D. Tarlet, C. Allouis, J. Bellettre. The balance between surface and kinetic energies within an optimal micro-explosion. *International Journal of Thermal Sciences*. 2016. Vol. 107. Pp. 179–183.

15 D. Tarlet, E. Mura, C. Josset, J. Bellettre, C. Allouis, P. Massoli. Distribution of thermal energy of child-droplets issued from an optimal micro-explosion. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2014. Vol. 77. Pp. 1043–1054.

16 Kim, A.V., Medvedev, N.N., Geiger, A., 2014. Molecular dynamics study of the volumetric and hydrophobic properties of the amphiphilic molecule C8E6. *J. Mol. Liq. Spec. issue: Fluid phase associations*. 189, 74–80. doi:10.1016/j.molliq.2013.05.001.

17 Voloshin, V.P., Kim, A.V., Medvedev, N.N., Winter, R., Geiger, A., 2014. Calculation of the volumetric characteristics of biomacromolecules in solution by the Voronoi-Delaunay technique. *Biophysical Chemistry*. 192, 1–9. doi: 10.1016/j.bpc.2014.05.001.

18 Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A. Evaporation, boiling and explosive breakup of heterogeneous droplet in a high-temperature gas // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016. V. 92. P. 360–369

19 Vysokomornaya O.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A. Breakup of heterogeneous water drop immersed in high-temperature air // *Applied Thermal Engineering*. 2017. V. 127. P. 1340–1345

20 Strizhak P.A., Piskunov M.V., Volkov R.S., Legros J.C. Evaporation, boiling and explosive breakup of oil-water emulsion drops under intense radiant heating // *Chemical Engineering Research and Design*. 2017. V. 127. P. 72–80

21 Piskunov M.V., Strizhak P.A. Using planar laser-induced fluorescence to explain the mechanism of heterogeneous water droplet boiling and explosive breakup // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2018. V. 91. P. 103–116.

22 P. Lavieille, F. Lemoine, G. Lavergne, J.F. Virepinte, M. Lebouche, Temperature measurements on droplets in monodisperse stream using laser-induced fluorescence, *Experiments in Fluids* 29 (2000) 429-437.

23 G. Castanet, A. Labergue, F. Lemoine, Internal temperature distributions of interacting and vaporizing droplets, *International Journal of Thermal Sciences* 50 (2011) 1181-1190.

24 G. Castanet, L. Perrin, O. Caballina, F. Lemoine, Evaporation of closely-spaced interacting droplets arranged in a single row, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 93 (2016) 788-802.

25 F. Lemoine, G. Castanet, Temperature and chemical composition of droplets by optical measurement techniques: A state-of-the-art review, *Exp. Fluids*. 54 (2013).

26 Y.K. Akhmetbekov, S.V. Alekseenko, V.M. Dulin, D.M. Markovich, K.S. Pervunin, Planar fluorescence for round bubble imaging and its application for the study of an axisymmetric two-phase jet, *Exp. Fluids* 48 (2010) 615–629.

27 C. Abram, B. Fond, A.L. Heyes, F. Beyrau. High-speed planar thermometry and velocimetry using thermographic phosphor particles // *Appl. Phys. B*. 2013. DOI 10.1007/s00340-013-5411-8.

28 A.S. Nebuchinov, Y.A. Lozhkin, A.V. Bilsky, D.M. Markovich, Combination of PIV and PLIF methods to study convective heat transfer in an impinging jet, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 80 (2017) 139–146.

29 Kuznetsov G.V., Strizhak P.A., Volkov R.S., Vysokomornaya O.V. Integral characteristics of water droplet evaporation in high temperature combustion products of typical flammable liquids using SP and IPI methods // *International Journal of Thermal Sciences*. 2016. V. 108. P. 218–234.

30 Glushkov D.O., Strizhak P.A., Chernetskii M.Yu. Organic Coal-Water Fuel: Problems and Advances (Review) // *Thermal Engineering*. 2016. V. 63, No. 10. P. 707–717.

31 Glushkov D.O., Lyrschikov S.Yu., Shevyrev S.A., Strizhak P.A. Burning Properties of Slurry Based on Coal and Oil Processing Waste // *Energy&Fuels*. 2016. V. 30, No 4. P. 3441–3450.

32 Yanovsky V.A., Andropov M.O., Fakhrislamova R.S., Churkin R.A., Minaev K.M., Ulyanova O.S., Rheological properties of inverse emulsions stabilized by ethanolamides of tall oil fatty acids, *MATEC Web Conf.*, 2016, Vol. 85, pp. 1-7.

33 Minaev K., Epikhin A., Novoseltsev D., Andropov M., Yanovsky V., Ulyanova O. Research of inverted emulsions properties on the base of new emulsifiers // IOP Conf. Ser. Earth Environ. – 2014. – Vol. 21. – P. 1-6.

34 M.Y. Khan, Z.A.A. Karim, A.R.A. Aziz, M.R. Heikal, C. Crua, Puffing and Microexplosion Behavior of Water in Pure Diesel Emulsion Droplets During Leidenfrost Effect, Combust. Sci. Technol. 189 (2017) 1186–1197. doi:10.1080/00102202.2016.1275593.

35 E. Mura, P. Massoli, C. Josset, K. Loubar, J. Bellettre, Study of the micro-explosion temperature of water in oil emulsion droplets during the Leidenfrost effect, Exp. Therm. Fluid Sci. 43 (2012) 63–70. doi:https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.03.027

36 E. Mura, C. Josset, K. Loubar, G. Huchet, J. Bellettre, Effect of dispersed water droplet size in microexplosion phenomenon for water in oil emulsion, At. Sprays. 20 (2010) 791–799. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79251552819&partnerID=40&md5=98e618d1975ce0814ca5a5f3bcbb5175

37 Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Volkov R.S., Strizhak P.A. Unsteady temperature fields of evaporating water droplets exposed to conductive, convective and radiative heating // Applied Thermal Engineering. 2018. V. 131. P. 340–355.

38 Буланов Н.В. Взрывное вскипание диспергированных жидкостей. Изд-во УрГУПС, 2011. – 232 с.

39 A.M. Ithnin, H. Noge, H.A. Kadir, W. Jazair, An overview of utilizing water-in-diesel emulsion fuel in diesel engine and its potential research study, J. Energy Inst. 87 (2014) 273–288. doi:https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.04.002.

40 Y. Morozumi, Y. Saito, Effect of Physical Properties on Microexplosion Occurrence in Water-in-Oil Emulsion Droplets, Energy & Fuels. 24 (2010) 1854–1859. doi:10.1021/ef9014026.

41 Volkov R.S., Zhdanova A.O., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Experimentally Determining the Sizes of Water Flow Droplets Entrained by High Temperature Gases // Thermal Engineering. 2015. V. 62, № 8. P. 586–592.

42 Volkov R.S., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Movement and Evaporation of Water Droplets under Conditions Typical for Heat-Exchange Chambers of Contact Water Heaters // Thermal Engineering. 2016. V. 63, No. 9. P. 666–673.

43 Объект автоматизации. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecoheat.ru> (Дата обращения: 08.03.2018)

44 Форсунка для топливной эмульсии. [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru> (Дата обращения: 08.03.2018)

45 Ключев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

46 Лаврищев И.Б., Кириков А.Ю. Разработка функциональных схем автоматизации при проектировании автоматизированных систем управления процессами пищевых производств: Метод. указания к практическим занятиям по курсовому проектированию для студентов спец. 210200. – СПб.:СПбГУНиПТ, 2002. – 51 с.

47 Скоробогатова Т. Н. Лекции по теории автоматического управления для направления «Управление в технических системах», 2013. – 241 с.

48 Стрижак П. А., Пискунов М. В., Волков Р. С. и др. Испарение капель эмульсий воды и нефтепродуктов при высоком температурном нагреве: Журнал Chemical Engineering Research and Design, 127 (2017). – 72 – 80 с.

49 Камера сгорания промышленного водогрейного котла [Электронный ресурс]. URL: <http://uteplenievdoma.ru/sistema-otopleniya/kotly-otopleniya-svoimi-rukami.html> (дата обращения: 01.02.2018).

50 ГОСТ 21.404–85. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

51 Каталог фирмы «Элемер». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elemer.ru/catalogs> (дата обращения: 01.02.2018)

52 ПЛК «Siemens». [Электронный ресурс]. URL: <https://tehprivod.ru> (дата обращения: 01.02.2018)

53 ПЛК «AutomationDirect». [Электронный ресурс]. URL: http://www.plcsystems.ru/catalog/click/doc/CLICK_sm.pdf (дата обращения: 01.02.2018)

54 ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. URL: http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf (дата обращения: 01.02.2018)

55 Расходомер TFG-S-BOPF2E. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.promrezerv.ru/dizel.htm> (дата обращения: 01.02.2018)

56 Расходомер топлива DFM 100AK. [Электронный ресурс]. URL: <http://technoton.spb.ru/catalog/rashodomery-topliva/datchiki-rashoda-topliva/9> (дата обращения: 01.02.2018)

57 Дизельные насосы. [Электронный ресурс]. URL: <http://mskompany.ru/nasosnoe-oborudovanie> (дата обращения: 01.02.2018)

58 Масляный компрессор. [Электронный ресурс]. URL: <http://kompresory.vseinstrumenti.ru> (дата обращения: 01.02.2018)

59 Компрессор ARB СКМА24. [Электронный ресурс]. URL: <https://4x4experience.ru/katalog> (дата обращения: 01.02.2018)

60 Блоки управления БУЭР 1-30, схемы подключения технических средств измерения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elkont.ru> (дата обращения: 01.02.2018)

61 ПЛК63 Схемы подключения технических средств. [Электронный ресурс]. URL: http://www.owen.ru/uploads/datchik_temperaturi_4_..20ma_1.pdf (дата обращения: 01.02.2018)

62 Модуль аналоговых входов MB110-8A, схемы подключения технических средств измерения. [Электронный ресурс]. URL: http://www.owen.ru/uploads/datchik_temperaturi_4...20ma_3.pdf (дата обращения: 01.02.2018)

63 СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. URL: http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm (дата обращения: 01.02.2018)

64 Резисторы С2–С3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.reom.ru/page.php?pageId=5&topic=43&catId=269> (дата обращения: 01.02.2018)

65 Ключев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

66 Техническое требования к системе. [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net> (дата обращения: 01.02.2018)

67 Каталог фирмы «Метран». [Электронный ресурс]. URL: <http://www2.emersonprocess.com> (дата обращения: 01.02.2018)

68 БП-10. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tps21.ru> (дата обращения: 01.02.2018)

69 Интернет магазин. [Электронный ресурс]. URL: <http://aliex-top.ru/product-detail/excellent-low-cost-8800-vortex-flow-meter-60423903536.html> (дата обращения: 01.02.2018)

70 БРУ-42И-03 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zeim.ru/production/cat/list/bru.pdf> (Дата обращения: 01.02.2018)

71 РЗД-22 [Электронный ресурс]. URL: <http://pbuy.ru/rzd-22-zadatchik-ruchnoy-29582> (дата обращения: 01.02.2018)

72 ТСС-80 [Электронный ресурс]. URL: https://www.moxa.ru/shop/converters/rs-422_485/tcc-80/tcc-80/ (дата обращения: 01.02.2018)

73 ICP DAS I-7513 [Электронный ресурс]. URL: https://www.moxa.ru/shop/converters/rs-422_485/tcc-80/tcc-80/ (дата обращения: 01.02.2018)

74 Практическое использование эмульсий типа «вода в дизеле» [Электронный ресурс]. URL: http://www.mgau.ru/file_article/ds/disslevina.pdf (Дата обращения: 01.02.2018)