



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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций

УДК: 681.5:662.758.2-046.66

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Забелин Илья Валерьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации
ПК(У)-2	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
ПК(У)-3	Способен интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
ПК(У)-4	Способен применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
ПК(У)-5	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
ПК(У)-6	Способен проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
ПК(У)-7	Способен руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений
ПК(У)-8	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Забелину Илье Валерьевичу

Тема работы:

АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.02.2023 №41-33/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Публикации с достижениями в области измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций. 2. Экспериментальные стенды и разработанные в ТПУ методики проведения исследований. 3. Реологические свойства и компонентный состав водоугольных и органоводоугольных топливных композиций. 4. Требования к системе управления: <ul style="list-style-type: none"> – три уровня автоматизации; – применение, в качестве основного технического средства управления современного, программируемого логического контроллера.
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Экспериментальные исследования. 2. Системный анализ объекта автоматизации. 3. Проектирование АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций. 4. Взаимосвязь оборудования верхнего, среднего и полевого уровней в виде схемы. 5. Разработка комплекта схемной и конструкторской документации шкафа управления АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций. 6. Расчет параметров настройки регулятора. 7. Мнемосхема SCADA-системы АСУ ТП. 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 9. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации. 4. Схема электрическая соединений. 5. Перечень элементов электрической схемы. 6. Схема монтажная. 7. Сборочный чертеж шкафа управления. 8. Спецификация шкафа управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Иностранный язык	Гончарова Любовь Анатольевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Экспериментальные исследования (The influence of the nozzle design with a use of addition coaxial secondary atomizer channel on the atomization characteristics of suspension fuels)	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Забелин Илья Валерьевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 138 с., 38 рис., 34 табл., 61 источник.

Ключевые слова: распыление, измельчение, форсунка, первичная подача воздуха, вторичная подача воздуха, автоматизированная система управления, программируемый логический контроллер, SCADA-система водоугольное топливо, органоводоугольное топливо.

Объектом автоматизации является система распыления топлива в камеру сгорания.

Цель работы – повышение эффективности работы форсунки путем улучшения качества распыливания жидкости: увеличение объемной доли мелких капель в потоке, увеличение скорости движения капель, уменьшение угла отклонения струи от первоначальной траектории и угла раскрытия струи, а также разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций.

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

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ВУТ – водоугольное топливо;

ДТ – датчик температуры;

ДД – датчик давления;

ИМ – исполнительный механизм;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и аппаратура;

КС – камера сгорания;

КТС – комплекс технических средств;

ОВУТ – органоводоугольное топливо;

ПАЗ – противоаварийная автоматическая защита;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РК – регулирующий клапан;

РО – регулирующий орган;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

ШУ – шкаф управления.

Оглавление

Введение.....	11
1 Научно-исследовательская работа	14
1.1 Обзор литературы	14
1.2 Описание экспериментального комплекса.....	19
1.3 Результаты исследований.....	25
1.4 Основные заключения	33
2 Разработка АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций	34
2.1 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления	36
2.2 Разработка функциональной схемы	38
2.3 Выбор технических средств автоматизации	39
2.3.1 Выбор регулирующего устройства	41
2.3.2 Выбор датчиков температуры	44
2.3.3 Выбор датчиков давления	46
2.3.4 Выбор средств измерения расхода.....	48
2.3.5 Выбор датчика уровня.....	50
2.3.6 Выбор исполнительного механизма	52
2.3.7 Выбор пускателя для исполнительного механизма	52
2.3.8 Выбор контактора для насосов и компрессоров.....	53
2.4 Разработка монтажной схемы.....	53
2.5 Разработка схемы электрической соединений.....	54
2.6 Разработка сборочного чертежа шкафа управления	55

3	Расчет параметров настройки ПИ – регулятора	57
3.1	Идентификация объекта регулирования	57
3.2	Определение оптимальных параметров настройки регулятора	60
3.3	Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия	61
3.4	Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущения	64
4	Разработка мнемосхемы визуализации технологического процесса.....	68
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	73
5.1	Потенциальные потребители результатов исследования	74
5.2	Анализ конкурентных технических решений	75
5.3	SWOT-анализ.....	77
5.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	79
5.5	Инициация проекта	82
5.5.1	Цели и результат проекта.....	82
5.5.2	Организационная структура проекта.....	83
5.5.3	Ограничения и допущения проекта	84
5.6	Планирование научно-исследовательской работы.....	84
5.7	Бюджет научно-технического исследования	87
5.7.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования ...	87
5.7.2	Амортизация.....	88
5.7.3	Заработная плата исполнителей	88
5.7.4	Отчисления во внебюджетные фонды.....	91
5.7.5	Накладные расходы	91

5.7.6 Смета затрат на оборудование.....	92
5.7.7 Формирование затрат научно-исследовательского проекта	93
5.8 Ресурсоэффективность	94
5.9 Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	95
6 Социальная ответственность	98
6.1 Введение.....	98
6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	98
6.2.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	99
6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ...	100
6.3 Производственная безопасность	101
6.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	103
6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	103
6.3.3 Расчет вредного производственного фактора.....	108
6.3.4 Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействия опасных и вредных факторов на работающего (исследователя)	111
6.4 Экологическая безопасность.....	111
6.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	112
6.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду ...	112
6.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	112
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	113

6.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	113
6.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований	114
6.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	114
6.6 Выводы по разделу	115
Заключение	116
Список использованных источников	117
Приложение А	123

Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.003 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.003 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.003 СО1	Заказная спецификация приборов и средств автоматизации
ФЮРА.421000.003 С5	Схема монтажная
ФЮРА.421000.003 Э4	Схема электрическая соединений
ФЮРА.421000.003 ПЭ4	Перечень элементов электрической схемы
ФЮРА.421000.003 СБ	Сборочный чертеж шкафа управления
ФЮРА.421000.003 СП	Спецификация шкафа управления

Введение

Системы автоматизации для электростанций за последние 20 лет становились все более сложными благодаря значительным достижениям в области технического оборудования и программного обеспечения. Там, где когда-то электростанцией управлял оператор, стоящий перед рядом датчиков и органов управления, сегодня большинство станций управляется в основном программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) и регуляторами, а оператор выполняет исполнительную роль. В дополнение к обеспечению большей степени автоматизации предприятий, эти достижения также дали возможность более тщательно контролировать все процессы электростанции. Это, в свою очередь, означает, что операции установки могут быть оптимизированы по целому ряду параметров для обеспечения более высокой эффективности или большей гибкости в зависимости от требований оператора. Мощные микропроцессорные средства и сложное программное обеспечение лежат в основе этой новой системы автоматизации. Без достижений как в оборудовании, так и в средствах связи такие системы невозможно было бы построить. Однако важны и другие факторы. Достижения в области датчиков и измерительных технологий позволили измерять и контролировать намного больше рабочих параметров электростанции, чем это было возможно в прошлом, обеспечивая гораздо более подробную картину состояния электростанции в режиме реального времени. При этом современные автоматизированные системы управления (АСУ) дают возможность точнее, чем раньше, регулировать работу предприятий. Именно интеграция всех этих элементов позволила современным технологиям оптимизации электростанций развиваться до сегодняшнего уровня [1, 2].

Эффективность сжигания водоугольного топлива (ВУТ) во многом зависит от качества распыления топлива. Конструкция форсунки непременно является очень важным пунктом, оказывающим большое влияние на качество распыления и сгорания топлива. Функциональное назначение форсунки заключается в измельчении жидкого топлива и последующем образовании капель жидкости для увеличения площади контакта между жидким топливом и окружающей средой с целью достижения быстрого испарения, перемешивания и горения. В связи с этим вторичное измельчение капель водоугольных и органомодоугольных топливных композиций является перспективной технологией для внедрения во многие отрасли промышленности, поскольку применение данной технологии позволяет повысить характеристики распыла суспензионных топлив [3]. Основная идея исследования – это добавление в форсунку дополнительного коаксиального канала вторичного распылителя. Ввиду того, что поток распылителя делится на два (первичный и вторичный), выполняется поэтапное дробление, чем достигается максимальное взаимодействие топлива с распылителем. В свою очередь, это обеспечивает его качественное распыление, приближая к монодисперсному мелкому состоянию [4].

В результате получения экспериментальных и теоретических информационных данных о характеристиках распыла топливных суспензий есть возможность разработать эффективные автоматизированные технологии распыления и сжигания в условиях вторичного измельчения [5].

Целью данной работы является повышение эффективности работы форсунки путем улучшения качества распыливания жидкости: увеличение объемной доли мелких капель в потоке, увеличение скорости движения капель, уменьшение угла отклонения струи от первоначальной траектории и угла раскрытия струи, а также разработка автоматизированной системы

управления технологическим процессом вторичного измельчения распыленных водоугольных и органомоугольных топливных композиций.

При увеличении объемной доли мелких капель в потоке увеличивается эффективность последующего горения. Так как чем меньше капли, тем быстрее происходит испарение, смешение с воздухом и воспламенение. Увеличение скорости движения капель приводит к уменьшению времени пребывания продуктов сгорания в топке котла. За счет этого образуется меньше термических оксидов азота. Уменьшение угла отклонения струи от первоначальной траектории исключает неравномерное распределение ВУТ в объеме топочной камеры. За счет уменьшения угла раскрытия струи снижается возможность разбрызгивания суспензионного топлива на остальные стенки камеры.

Основными задачами выпускной квалификационной работы являются:

- обзор литературных источников;
- экспериментальное исследование влияния конструкции форсунки, а именно, добавления в нее дополнительного коаксиального канала вторичного распылителя на характеристики распыла суспензионных топлив;
- системный анализ объекта автоматизации;
- выбор структуры автоматизированной системы управления;
- разработка функциональной схемы АСУ;
- выбор технических средств АСУ и составление заказной спецификации;
- разработка электрической схемы шкафа управления;
- составление перечня элементов шкафа управления;
- проектирование монтажной схемы;
- разработка сборочного чертежа шкафа управления;
- разработка мнемосхемы SCADA-системы.

1 Научно-исследовательская работа

1.1 Обзор литературы

В настоящее время технологически развитые страны прилагают усилия по совершенствованию технологий утилизации отходов углеобогащения для повышения экологического аспекта и безопасной эксплуатации энергетического оборудования [6]. Одним из перспективных решений в энергетике является разработка и внедрение технологии водоугольного топлива (ВУТ), которое представляет собой высокоэффективное, транспортируемое по трубопроводу жидкое топливо на основе угля и воды с поверхностно-активным веществом (ПАВ) или без него. ВУТ не только сохраняет исходные характеристики угля, но и обладает такой же текучестью, как нефть. Его можно легко загружать и хранить, как нефть, совершать транспортировку по трубопроводу и осуществлять эффективное сжигание. Это идеальное топливо-заменитель нефти и угля, которое может широко использоваться в промышленных котлах электростанций [7]. Технология ВУТ – это еще и способ утилизации угольных шламов. Эти шламы в настоящее время перерабатываются и складываются как отходы, но их можно использовать для приготовления суспензий и применять в качестве топлива на энергетических объектах. Кроме того, увлажненные шламы фактически являются полуфабрикатом для приготовления ВУТ, что снижает себестоимость производства [8].

К основным преимуществам водоугольного топлива (по сравнению с углем) относятся следующие пункты [9, 10]:

- ВУТ представляет собой негорючую жидкость, и ее безопасность значительно выше по сравнению с воспламеняемостью и взрывоопасностью нефти или газа;

- позволяет утилизировать отходы углебогатительных фабрик (угольный шлак);
- подходит для различных котлов;
- имеет высокую степень выгорания и позволяет экономить топливо;
- представляет собой технологию глубокой очистки угля, соответствующую стандартам защиты окружающей среды;
- имеет удобную транспортировку (по трубопроводам, в цистернах) и хранение (не пылится).

Также существует возможность газификации ВУТ и дальнейшего использования полученного синтез-газа для производства энергии. Однако при газификации ВУТ образуется большое количество летучей золы с относительно крупным размером частиц (крупный шлак) в нижней части камеры газификатора и летучей золы (мелкий шлак) в верхней части камеры с относительно небольшим размером частиц. Поэтому рациональное использование и обезвреживание золы является актуальной задачей в современной углехимической промышленности [11, 12].

Также, технология ВУТ имеет недостатки, влияющие на ее применение в энергетике. В первую очередь это касается работы форсунок [13], на которые влияет увеличение доли угля в ВУТ, что приводит к увеличению вязкости и, следовательно, вызывает снижение полноты сгорания [14]. Таким образом, актуальным является более детальное изучение механизмов измельчения и горения капель ВУТ.

Эффективность сжигания ВУТ во многом зависит от качества распыления топлива. Конструкция форсунки, непременно, является очень важным пунктом, оказывающим большое влияние на качество распыления и сгорания топлива. Функциональное назначение форсунки заключается в измельчении жидкого топлива и образовании капель жидкости для увеличения

площади контакта между жидким топливом и окружающей средой с целью достижения быстрого испарения, перемешивания и горения. В связи с этим в последние десятилетия активизировались исследования по разработке различных видов форсуночных устройств.

Существует множество различных типов форсунок, предназначенных для измельчения жидкого топлива, в том числе водоугольного шлама. Они бывают: пневматические [15-20] (прямоточные внутреннего смешивания, с многоступенчатым смешиванием, барботажные (пузырьковые), коаксиальные), гидравлические [21-24] (струйные, ударно-струйные, центробежные, центробежно-струйные, с соударением струй) и акустические [24]. Различные типы форсунок [15-24] обладают своими преимуществами и недостатками. Так, например, основным преимуществом пневматических [15-20] форсунок является то, что они формируют эффективный мелкодисперсный поток (0–10 мкм). Гидравлические [21-24] форсунки дают более грубый распыл (80–160 мкм), по сравнению с предыдущим типом, однако обладают относительно маленькими углами раскрытия факела распыла (5–15 °). Акустические форсунки [24] отличаются более тонким и однородным дроблением (средний диаметр капель составляет 20–35 мкм), однако обладают весьма сложной конструкцией.

Таким образом, на эффективность распыления большое влияние оказывает правильный выбор распылительного устройства. Анализируя классификацию и характеристики форсунок, можно сделать вывод, что коаксиальные и смешивающие форсунки являются наиболее перспективными для рассмотрения в качестве разработки форсуночного устройства.

Из-за того, что ВУТ отличается высокой вязкостью, в настоящее время для его распыления применяется комбинация механических и пневматических форсунок, которые, в свою очередь, делятся на форсунки с внешним и внутренним взаимодействием потоков. Принцип действия пневматической

форсунки заключается в использовании высокоскоростного потока сжатого воздуха, его смешивания с воздухом и последующего распыления. Недостатком данного вида форсунок является эрозионный износ из-за нестабильных реологических характеристик ВУТ и наличия в его составе угольных частиц, что приводит к необходимости улучшения данной технологии [25].

Стабильность и целостность сжигания топлива в камере сгорания характеризуются степенью его распыления и совершенством аэродинамики газового потока внутри камеры. Эти свойства обеспечивают, как безопасные условия воспламенения, сгорания, перемешивания топлива и окислителя, так и оптимальные условия сжигания топлива во всей камере. Качество распыления ВУТ в камере сгорания зависит от характеристик топлива и конструкции распылительной форсунки [26].

В работе [27] сообщается, что процесс сгорания водоугольного топлива значительно отличается от процесса сгорания пылеугольного топлива.

В работе [13] проводились экспериментальные исследования по распылению ВУТ пневмомеханическим распылителем. Измельчение ВУТ проводили на сите с тарелкой. Затем определялась конфигурация факела распыла. Он перехватывался алюминиевой пластиной, а качество распыления определяли по отпечатку на валике. Тем не менее этот метод регистрации качества распыления устарел и неточен. В настоящее время существуют новые методы анализа распыления затененных потоков.

Одним из таких методов является PIV-метод (Particle Image Velocimetry). В нем используются мелкие частицы, называемые трассерами, которые помещаются в поток. Их скорость и направление определяются с использованием лазера и высокоскоростной видеокамеры. Таким образом, PIV-метод анализирует захваченные изображения для получения среднего

смещения изображений частиц в каждой небольшой области, тем самым определяя двумерное распределение скорости [28].

Также для изучения особенностей распыления используют SP-метод (Shadow Photography). Метод основан на регистрации теневой фотографии объекта с показателем преломления, отличным от его окружения. При этом за исследуемым объектом (относительно камеры) располагается диффузный источник света с равномерным пространственным распределением интенсивности. Плоскость фокусировки объектива камеры находится в непосредственной близости от объекта исследования (для получения наибольшей четкости теневой фотографии). Цифровой анализ теневого изображения позволяет определить положение и границу объекта [29].

В работе [30] для определения количественных характеристик пульверизации использовали лазерно-доплеровскую анемометрию (ЛДА). Этот бесконтактный метод используется для измерения направления и скорости взвешенных частиц в потоке жидкости или газа. Он основан на двух сходящихся лазерных лучах, направленных на поток таким образом, что они пересекаются в потоке и в зоне контроля формы. В этой области формируются интерференционные полосы. Расстояние между ними можно рассчитать. Частицы пересекают эти полосы и производят световые импульсы, время которых регистрируется. Затем, зная расстояние и время, рассчитывается скорость частиц в потоке.

Проведенный обзор показал, что применение водоугольного топлива в энергетике является перспективным направлением. Однако остается ряд нерешенных вопросов, связанных с производством, хранением и измельчением ВУТ. Поэтому одной из наиболее актуальных задач в этой области является разработка более эффективных распылителей, а также оценка и выбор способа получения ВУТ в каждом конкретном случае из-за неоднородности характеристик угля даже в пределах одной марки.

1.2 Описание экспериментального комплекса

На рисунке 1.1 приведен внешний вид используемого при проведении исследований экспериментального стенда. Суспензионное топливо объемом 50 мл, которое выдавливалось с помощью штока 1 (шприц объемом 150 мл с диаметром поршня 30 мм), создающего избыточное давление в диапазоне 60 – 140 кПа, распылялось с помощью форсунки 2. Воздух по каналам подачи 4 и 5 подавался (с массовым расходом в диапазоне 35–70 кг/ч) на распылительную форсунку 2 воздушными компрессорами 3 “PATRIOT EURO 24/240” (тип – поршневой масляный; рабочее давление – 0.1–0.8 МПа; объем ресивера – 24 л; максимальная производительность – 240 л/мин). Камера для распыления суспензии 6 представляла собой полый параллелепипед размерами 1×0.5×0.6 м, боковые грани которого выполнены из стекла и прозрачного поликарбоната толщиной 3 мм.

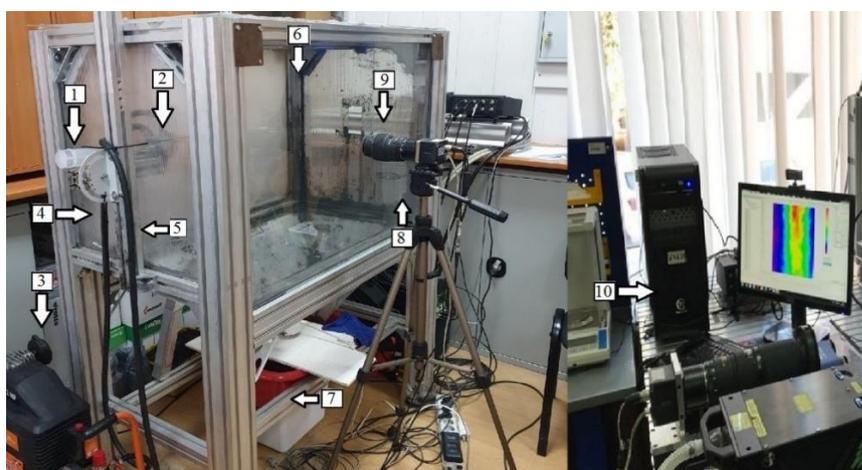


Рисунок 1.1 – Внешний вид экспериментального стенда: 1 – шток для выдавливания суспензии; 2 – форсунка; 3 – воздушный компрессор; 4 – первичный канал подачи воздуха на форсунку; 5 – вторичный канал подачи воздуха на форсунку; 6 – камера для распыления суспензии; 7 – емкость для сбора топлива; 8 – высокоскоростная видеокамера; 9 – объектив; 10 – персональный компьютер

Для регистрации характеристик распыления композиционных жидких топлив использовалась система видеорегистрации и цифровой визуализации, которая включала в себя: три прожектора «Multiled PT-V9 GS Vites» (количество светодиодов – 24; световой поток – 7700 лм; мощность – 84 В, угол рассеивания – 30 °), установленных с обратной части корпуса стенда; высокоскоростные видеокамеры «Photron FASTCAM Mini UX100 M3» (тип изображения – монохромное; максимальное разрешение 1280×1024 пкс; максимальная скорость съемки – $8 \cdot 10^5$ кадр/сек; минимальное время экспозиции – 4 мкс; максимальная разрядность изображения – 12 бит) и «Phantom MIRO M310» (тип изображения – монохромное; максимальное разрешение 1280×1024 пкс; максимальная скорость съемки – $6 \cdot 10^5$ кадр/сек; минимальное время экспозиции – 1 мкс; максимальная разрядность изображения – 12 бит); набор объективов: «SIGMA 50 мм 1:2.8D MACRO EX» (фокусное расстояние – 50 мм, относительное отверстие – 2.8); «Carl Zeiss Distagon 1.4/35 мм ZF.2» (фокусное расстояние – 35 мм, относительное отверстие – 1.4); «Nikon Micro-Nikkor 200 мм f/4D ED-IF A» (фокусное расстояние – 200 мм, относительное отверстие – 4).

На рисунке 1.2 показан внешний вид форсуночного устройства для распыления исследуемого суспензионного топлива.

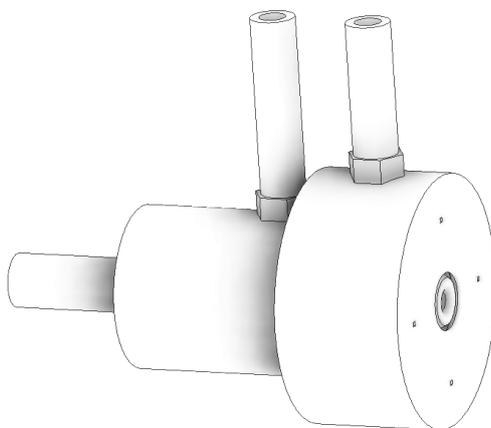


Рисунок 1.2 – Внешний вид форсуночного устройства [31]

На рисунке 1.3 представлен продольный разрез форсунки для распыления вязких жидкостей А-А, вид сбоку и поперечный разрез В-В, а на рисунке 1.4 приведена схема распыления вязкой жидкости.

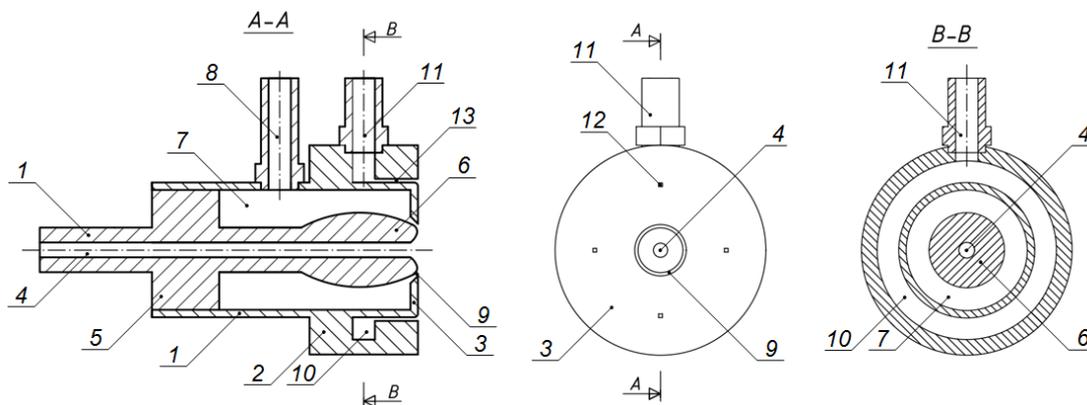


Рисунок 1.3 – Продольный разрез форсунки А-А, вид сбоку и поперечный разрез В-В: 1 – корпус, 2 – выступающая часть корпуса, 3 – крышка корпуса, 4 – топливный канал, 5 – удлиненный цилиндрический элемент в корпусе, 6 – вытянутый эллипсоид вращения, 7 – кольцевой коаксиальный канал первичного распылителя, 8 – штуцер первичного распылителя, 9 – отверстие первичного распылителя, 10 – внутренний кольцевой коаксиальный канал вторичного распылителя, 11 – штуцер вторичного распылителя, 12 – отверстия вторичного распылителя, 13 – внешний кольцевой коаксиальный канал вторичного распылителя

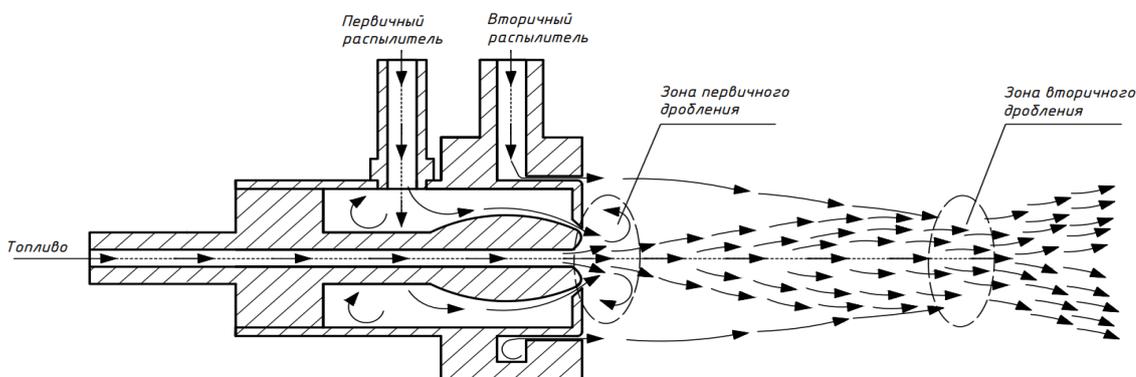


Рисунок 1.4 – Схема распыления вязкой жидкости

Для численной оценки значений характеристик распыления (объемная доля мелких капель, скорости движения капель, угол раскрытия струи, угол отклонения струи от первоначальной траектории) проведен цикл экспериментов. Эксперименты выполняли для случаев, когда вторичный распылитель не использовали, а также при его использовании. В качестве жидкости для распыления использовали 8 составов топлив. В таблице 1.1 приведены компонентные составы исследованных в рамках экспериментов жидкостных композиций, а также значения их вязкости и плотности.

Таблица 1.1 – Исследуемые жидкостные составы

№	Состав	Динамическая вязкость топлива μ_f (мПа·с)	Плотность топлива ρ_f (кг/м ³)
1	Вода без примесей	72	1000
2	50 % фильтр-кек, 50 % вода	324.1	1252
3	45 % фильтр-кек, 50 % вода, 5 % древесные опилки	1371	1208
4	50 % фильтр-кек, 45 % вода, 5 % рапсовое масло	735.4	1230
5	50 % фильтр-кек, 49 % вода, 1 % соевый лецитин	431	1103
6	50 % фильтр-кек, 49 % вода, 1 % лигносульфонат натрия	337.4	1190
7	50 % фильтр-кек, 49 % вода, 1 % дизельное топливо	640.8	1216
8	20 % фильтр-кек, 80 % вода	52.3	1087

По центральному топливному каналу 4 подавали вязкое топливо, с массовым расходом 140 кг/ч. Первичный распылитель (воздух) подавали из штуцера 8 первичного распылителя с массовым расходом 35–70 кг/ч одновременно с подачей вторичного распылителя (воздуха) из штуцера 11 вторичного распылителя с расходом 20–50 кг/ч. При этом поток распылителя, истекающий из отверстия 9, создавал нагнетание распылителя, что приводило к первичному дроблению выходящей из топливного канала 4 струи топлива на капли. Образовавшийся в результате первичного дробления капельный поток на расстоянии около 80–100 мм от крышки 3 форсунки подвергался вторичному дроблению за счет взаимодействия со струями вторичного распылителя, выходящими из отверстий 12. В результате такого взаимодействия крупные (более 100 мкм) капли дробились на более мелкие, скорость движения капель увеличивалась. Дополнительно за счет воздействия на распыленный поток топлива группой струй вторичного распылителя, выходящих из отверстий 12, уменьшался угол отклонения струи от первоначальной траектории – поток стабилизировался, а также снижался угол раскрытия струи. Одновременно с подачей топлива, с помощью персонального компьютера, запускали видеорегистрацию процесса распыления топлива, используя высокоскоростную видеокамеру, и выполняли подсветку области вокруг капель, используя светодиодный прожектор, установленный напротив видеокамеры. Полученные видеоизображения передавали в персональный компьютер, где выполнялась их обработка, в ходе которой определялись характеристики распыления. Использовали программное обеспечение: «Phantom Camera Control» и «ActualFlow». Обработка данных осуществлялась по аналогии с описанной в статье [32]. Процесс обработки включал следующие этапы, представленные на рисунках 1.5 и 1.6.

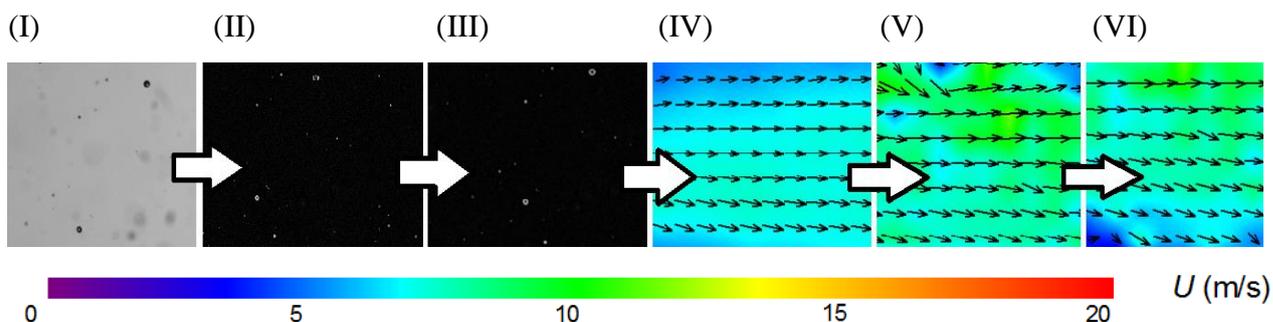


Рисунок 1.5 – Иллюстрация процесса обработки данных при построении полей скорости капель методом PIV: (I) – исходное изображение; (II) – инвертированное изображение; (III) – изображение после вычитания пороговой интенсивности фона; (IV) – мгновенное поле скорости; (V) – мгновенное поле скорости после процедуры интерполяции; (VI) – осредненное (по результатам серии кадров) поле скорости

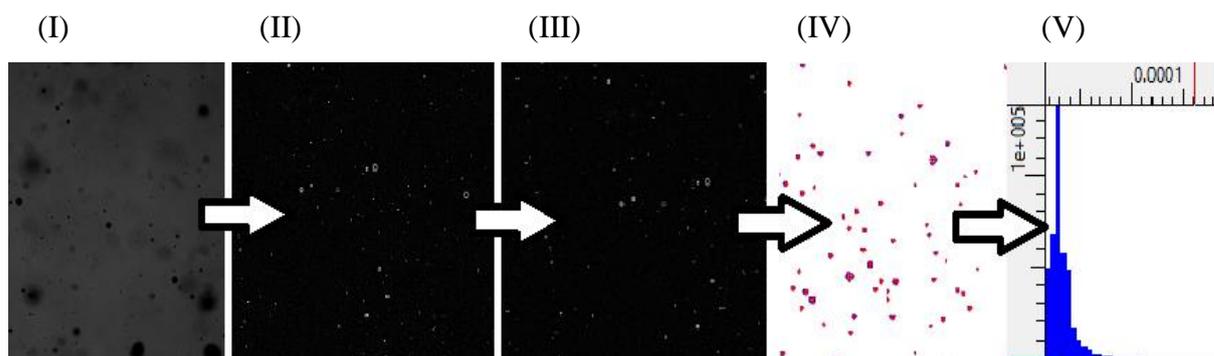


Рисунок 1.6 – Иллюстрация процесса обработки данных при определении размеров капель методом SP: (I) – исходное изображение; (II) – выделение границ капель при наложении фильтра «Laplace Edge Detection»; (III) – удаление шумов с изображения при наложении фильтра «Lowpass»; (IV) – определение средних радиусов капель с использованием процедуры «Bubbles Identification»; (V) – построение итоговой гистограммы распределения размеров капель

1.3 Результаты исследований

По результатам выполненных исследований установлено значимое изменение структуры распыленной струи при использовании канала для вторичной подачи воздуха. На рисунке 1.7 приведены видеограммы потока распыленной струи без и с применением вторичного распылителя.

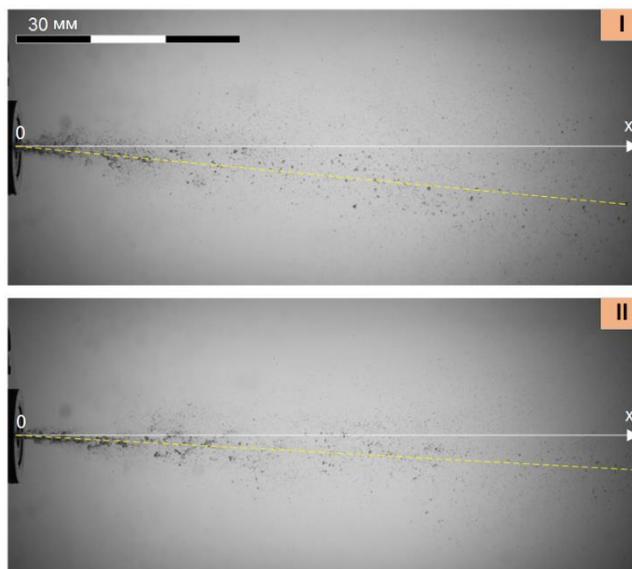


Рисунок 1.7 – Видеограммы потока распыленной струи: I – без использования вторичного распылителя; II – с использованием вторичного распылителя

Было установлено, что применение канала для вторичной подачи воздуха способно снизить значение угла отклонения струи от своей первоначальной траектории практически в 2 раза – с $7-8^\circ$ до $3-4^\circ$. Полученный результат достигается за счет того, что сгенерированная распыленная струя подхватывается исходящими из отверстий, расположенных по периферии форсунки, струями воздуха, что приводит к сбалансированию гравитационных сил, воздействующих на отдельные капли. А также, исходящие из отверстий, расположенных по периферии форсунки, струи воздуха способствуют вторичному дроблению капель.

На рисунке 1.8 приведены видеогаммы капель распыленной струи, зарегистрированные в трех различных регистрационных областях, полученные без использования и при использовании вторичного распылителя.

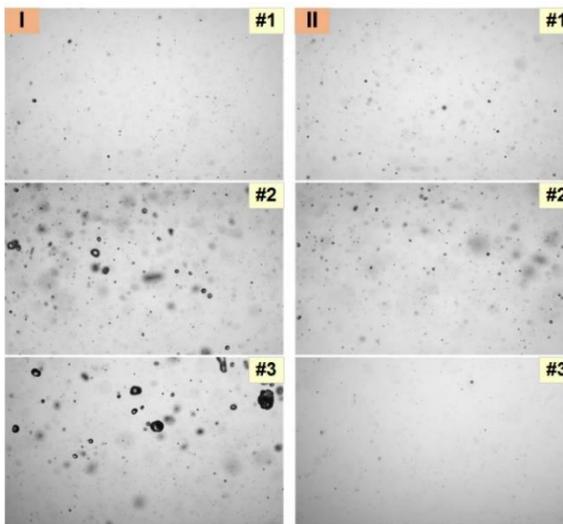


Рисунок 1.8 – Видеогаммы капель распыленной струи, зарегистрированные в трех различных регистрационных областях: I – без использования вторичного распылителя; II – с использованием вторичного распылителя

Видно (рисунок 1.8), что работа форсунки с применением вторичного распылителя (видеогаммы II на рисунке 1.8) способствует вторичному дроблению капель, снижению их массы, выравниванию направления потока и, как следствие, его монодисперизации. С точки зрения сжигания капель суспензионных топлив в камерах сгорания: равномерное распределение размеров капель в струе может способствовать их равномерному прогреву и последующему зажиганию и сгоранию.

На рисунке 1.9 приведен пример распределения объемной доли капель в распыленном потоке, полученного без использования, а также с использованием вторичного распылителя.

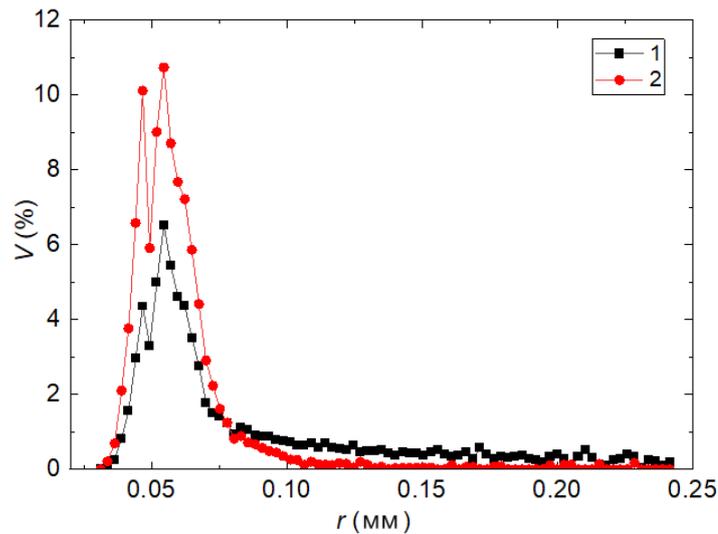


Рисунок 1.9 – Пример распределения объемной концентрации капель в распыленном потоке: 1 – без использования вторичного распылителя; 2 – с использованием вторичного распылителя

Видно (рисунок 1.9), что объемная концентрация мелких (радиусами менее 70–100 мкм) капель при использовании вторичного распылителя увеличивается более чем в 2 раза по сравнению со случаем, когда он не используется. При этом объемная концентрация капель с радиусами более 70–100 мкм пропорционально снижается (рисунок 1.9).

На рисунке 1.10 представлены типичные видеogramмы воздушных потоков, а также соответствующие им двухкомпонентные двумерные поля скорости потока отдельно первичного воздуха (I), отдельно вторичного воздуха (II) и совместно (III).

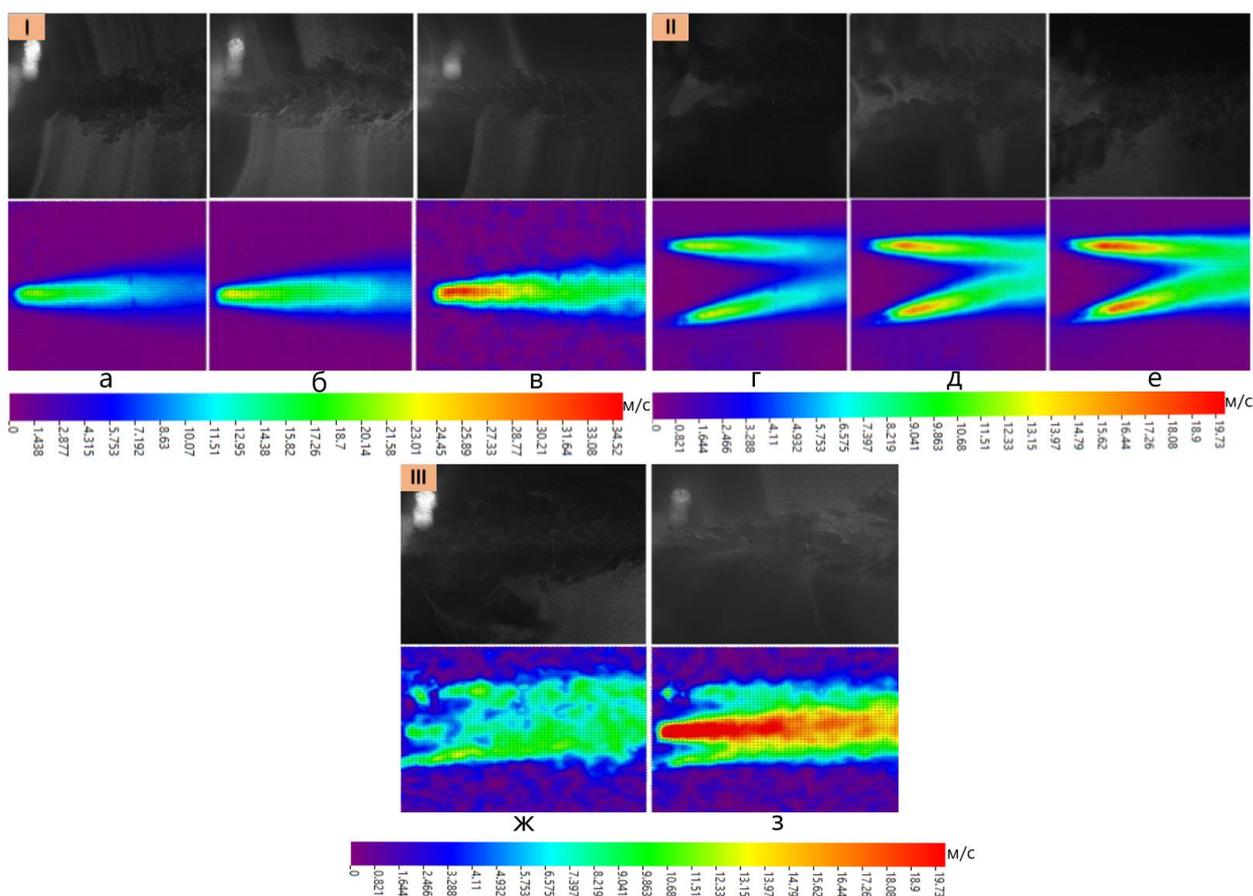


Рисунок 1.10 – Типичные видеogramмы воздушных потоков (сверху), а также соответствующие им двухкомпонентные двумерные поля скорости (снизу) потока воздуха, генерируемого первичным распылителем (I), вторичным распылителем (II) и совместно (III) при следующих параметрах: *a* – давление 4 бар, $\varphi \approx 1.57$ рад; *б* – давление 6 бар, $\varphi \approx 1.57$ рад; *в* – давление 8 бар, $\varphi \approx 1.57$ рад; *г* – давление 4 бар; *д* – давление 6 бар; *е* – давление 8 бар; *ж* – давление первичного воздуха 4 бар, давлении вторичного воздуха 8 бар, $\varphi \approx 9.42$ рад; *з* – давление первичного и вторичного воздуха 8 бар, $\varphi \approx 3.14$ рад

Для определения скоростей движения воздушных потоков были построены горизонтальное (а) и вертикальное (б) сечения, расположение которых представлено на рисунке 1.11. На рисунке 1.12 приведены полученные в сечениях профили движения скорости воздушного потока.

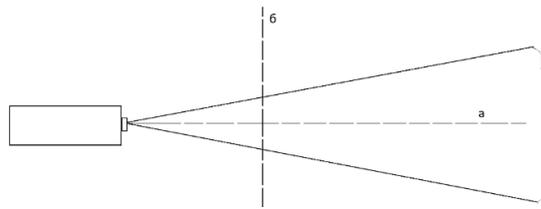


Рисунок 1.11 – Сечения воздушных потоков: *a* – горизонтальное; *б* – вертикальное

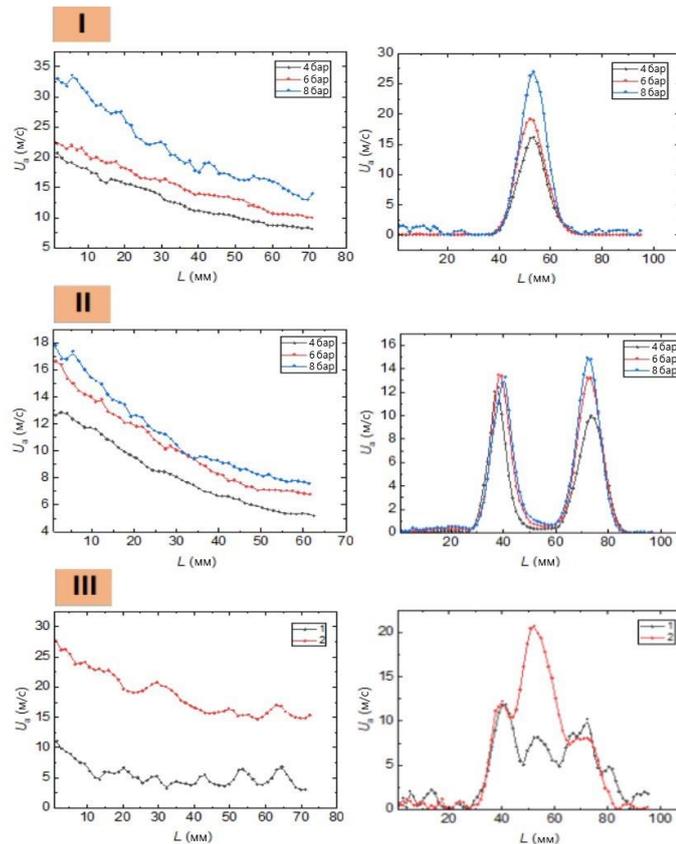


Рисунок 1.12 – Профили скорости движения воздушных потоков в горизонтальном (слева) и вертикальном (справа) сечении вдоль оси симметрии распылительной форсунки, потока воздуха, генерируемого первичным распылителем (I), вторичным распылителем (II) при варьировании давления в диапазоне 4–8 бар и совместного использования (III) при следующих параметрах: 1 – давление первичного воздуха 4 бар, давление вторичного воздуха 8 бар, $\varphi \approx 9.42$ рад; 2 – давление первичного воздуха 8 бар, давление вторичного воздуха 8 бар, $\varphi \approx 3.14$ рад

Установлено, что скорости воздушных потоков первичного распылителя зависят от угла закрытия форсунки. Так, при угле закрытия 9.42 рад и давлении 6 бар, скорость движения воздушного потока составляет 12 м/с, но при том же давлении и угле закрытия форсунки 1.57 рад, скорость составляет 23 м/с. Можно отметить, что чем меньше значение угла закрытия, тем более узкий капельный поток регистрировался. Также определено, что увеличение давления с 4 до 8 бар при углах закрытия 1.57 рад, 4.71 рад и 9.42 рад приводит к увеличению скорости движения воздушных потоков на 32–48 %. Применение же отдельно вторичного распылителя и увеличение давления с 4 бар до 8 бар приводит к росту скоростей движения воздушных потоков на 28 %, а именно, с 13 м/с до 18 м/с, при этом определено, что скорости движения потоков снижаются на 56 % по мере удаления от распылительной форсунки на расстояние до 63 мм. Также установлено, что совместное использование двух распылителей при давлении первичного воздуха 8 бар и $\varphi \approx 3.14$ рад способствует получению достаточно высоких значений скорости движения воздушных потоков – до 30 м/с, в то время как при давлении первичного воздуха 4 бар и $\varphi \approx 9.42$ рад скорость движения воздуха на 50 % ниже.

На рисунке 1.13 приведены полученные по результатам экспериментов значения углов раскрытия струи (α), углов отклонения струи от оси симметрии форсунки (β), объемной доли капель с радиусом менее 100 мкм (V_n), а также средней скорости движения капель (U), полученные без использования, а также с использованием вторичного распылителя для всех исследуемых составов (Таблица 1.1).

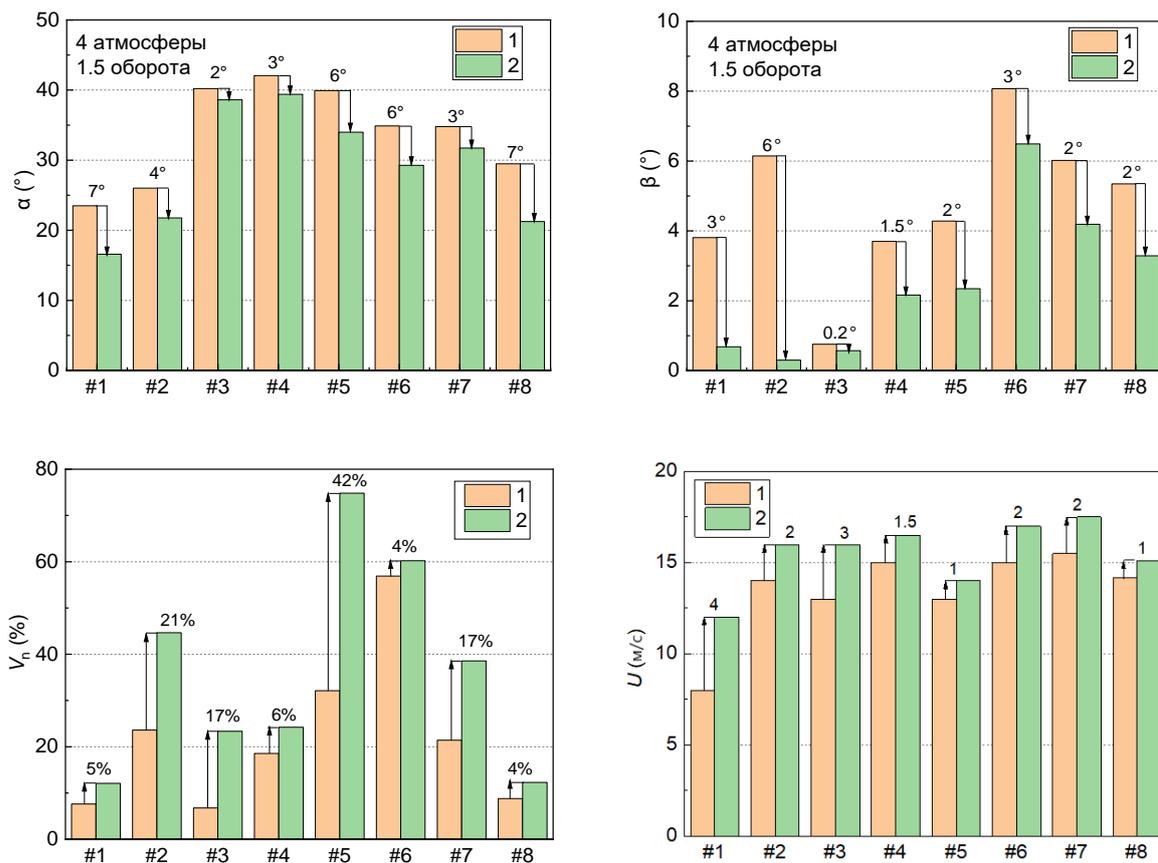


Рисунок 1.13 – Диаграмма значений углов раскрытия струи (α), углов отклонения струи от оси симметрии форсунки (β), объемной доли капель с радиусом менее 100 мкм (V_n), а также средней скорости движения капель (U), полученных без использования (1), а также с применением (2) вторичного распылителя для всех исследуемых составов

Исходя из данных диаграмм (рисунок 1.13), целесообразно сделать вывод о том, что совместное использование первичного и вторичного распылителя оказывает положительное влияние на такие характеристики распыления, как углы раскрытия струи (α) и углы отклонения струи от оси симметрии форсунки (β). Видно, что угол α снижается на 2–7°, а значения угла β снижаются на 0.2–3°, что, безусловно, оказывает положительное влияние на процесс распыления ВУТ. Также в результате использования вторичного

распылителя, происходит заметное увеличение объемной концентрации капель радиусом меньше 100 мкм в диапазоне от 6 % до 71 %, что непременно подтверждает эффективность его работы. Кроме того, использование вторичного распылителя способствует увеличению скоростей движения капель топлива в диапазоне от 1 м/с до 4 м/с.

Также из рисунка 1.13 заметно, что составы №1, №5, №6, №8 имеют наибольшее снижение значения угла раскрытия (α) в условиях применения вторичного распылителя. Данная зависимость объясняется наименьшими показателями значений плотности данных топливных композиций, которые не превышают значений 1200 кг/м³. Можно сделать вывод о том, что составы, состоящие на 80–100 % из воды, а также составы с добавлением 1 % соевого лецитина, 1 % лигносульфоната натрия безусловно окажут положительное влияние на процесс распыления топлива с использованием вторичного распылителя. Композиционное жидкое топливо, в состав которого входит 1 % соевого лецитина показало наивысшее значение объемной доли капель с радиусом менее 100 мкм в случае применения вторичного распылителя. Прирост концентрации мелких капель относительно случая, когда вторичный распылитель не использовался, составил 42 %. Состав с содержанием 5 % рапсового масла обладает наибольшим значением угла раскрытия струи топлива от оси симметрии форсуночного устройства в условиях отсутствия и применения вторичного распылителя. Наибольшим же углом отклонения струи от оси симметрии форсунки обладает состав с содержанием 1 % лигносульфоната натрия. Наибольшая скорость движения капель топлива в процессе распыления в условиях применения вторичного распылителя и без него принадлежит композиционному топливу с 1 % дизельного топлива в своем составе.

1.4 Основные заключения

В результате экспериментальных исследований форсунок с применением вторичного распылителя в сравнении с обычным использованием форсунки показана возможность получения более равномерного и мелкодисперсного распыла, дополнительного разбиения капель, увеличения скорости потока, снижения угла отклонения струи от первоначальной траектории. По результатам исследований сделаны выводы:

1) применение канала для вторичной подачи воздуха способно снизить значение угла отклонения струи от своей первоначальной траектории практически в 2 раза – с 7–8 ° до 2–3 °;

2) объемная доля мелких (радиусами менее 100 мкм) капель при использовании вторичного распылителя увеличивается до 71 %, в то время как объемная доля капель с радиусами более 100 мкм, напротив, пропорционально снижается;

3) использование вместе первичного и вторичного распылителя способствует монодисперизации (снижению разброса капель по размерам) распыленного потока, а также тому, что распределение капель по размерам в вертикальном сечении струи также становится равномерным;

4) при использовании канала для вторичной подачи воздуха скорости капельного потока возрастают до 30 % по сравнению со случаем, когда вторичный распылитель не используется;

5) совместное использование первичного и вторичного распылителя способствуют улучшению параметров распыления в целом.

2 Разработка АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций

В рамках выполнения данной работы предполагается разработка АСУ процессом распыления топлива в камеру сгорания.

Регулирование и поддержание необходимого соотношения между расходом топлива и расходом распылителя (например, воздуха) реализуется электроприводными задвижками.

Управление системой совершается дистанционно через АРМ оператора с персонального компьютера.

Информационная модель системы управления распылением топлива определяется в зависимости от поступающих в систему входных и выходных информационных потоков между разными уровнями системы и включает в себя соответствующие уровни:

- нижний уровень, состоящий из датчиков температуры, давления, расхода и уровня, т.е. полевое оборудование КИПиА;
- средний уровень, содержащий, к примеру, ПЛК;
- верхний уровень, представляющий собой автоматизированное рабочее место оператора в виде SCADA.

В качестве объекта автоматизации была выбрана камера сгорания водогрейного котла КВ 5,0-115 ШпВТ, который предназначен для получения горячей воды, используемой в системах отопления и горячего водоснабжения промышленного и бытового назначения, а также для технологических целей.

При вихревом способе сжигания топочных газов, капли топлива циркулируют по заданному контуру до тех пор, пока не будет завершено их полное сгорание. Если же осуществляется непрекращающийся возврат крупных капель в зону активного сжигания, становится возможным возрастание времени пребывания капель в топке без укрупнения её габаритов.

Вихревой метод сжигания используется в низкотемпературных вихревых топках, циклонных вихревых горелках, и др. Помимо уменьшения потерь с механическим недожогом и расходов на размол топлива к преимуществам вихревого способа следует приобщить стабилизацию процесса горения благодаря возрастанию массы топлива в топке.

Топки котлоагрегатов ТЭС, рассчитанные для сжигания суспензионных топлив, обязаны обеспечивать достаточно высокое время пребывания капель топлива в камере сгорания, и поддерживать требуемую высокую температуру во всем объеме камеры сгорания. Естественно, что такие условия могут быть гарантированы при вихревом методе сжигания, что и служит причиной его большого распространения при сжигании топлив.

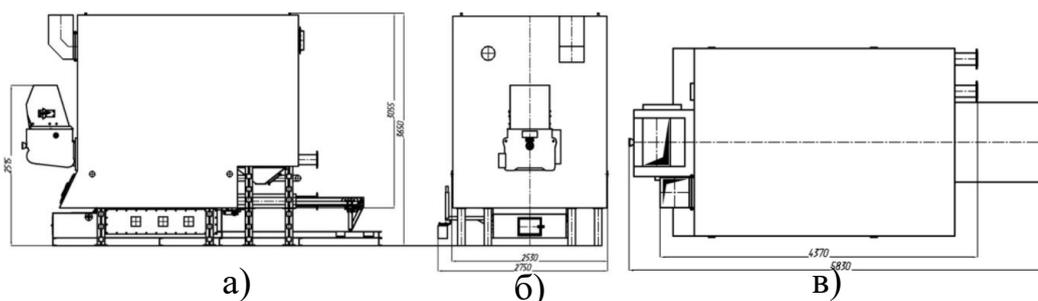


Рисунок 2.1 – Схема водогрейного котла с вихревой топкой КВ 5,0-115

ШпВТ: а) блок котла; б) питатель топлива; в) выгрузатель шлака

Компоненты системы, обеспечивающие ее правильное и безопасное функционирование:

1) система топливоподачи, включающая в себя топливный бак и дополнительные баки с распылителем, необходимые для хранения и подачи всевозможных компонентов в камеру сгорания;

2) система газообеспечения, включающая в себя компрессорные установки для закачки распылителя (например, воздуха) в баллоны с целью хранения, а также для подачи компонентов в камеру сгорания;

3) система противоаварийной защиты, при которой безопасные условия на ТЭС регулируются системой стандартов безопасности труда – ГОСТ 12.0.004-2015;

4) оборудование подавления шума для таких источников шума, как насосы, компрессоры, задвижки регулирующих клапанов и др.;

5) система управления для автоматизированного управления технологическими процессами микропроцессорной контроллерной техникой.

2.1 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления

На листе с шифром ФЮРА.421000.003 С1 представлена структурная схема КТС автоматизированной системы управления.

Основным элементом автоматизированной системы является камера сгорания, в которой осуществляется сжигание топлива. Данное топливо и распылитель подаются по трубопроводам. Регулирование количества подаваемого топлива, а также первичного и вторичного распылителя осуществляется регулируемыми клапанами РК1, РК2 и РК3, соответственно. Температура в камере сгорания и на трубопроводах контролируются датчиками температуры ДТ, данные с которых поступают на ПЛК. Давление регистрируется при помощи датчиков давления ДД, данные с которых также поступают на ПЛК. Кроме того, на ПЛК поступают данные о расходе топлива (Р1), расходах первичного (Р2) и вторичного (Р3) распылителей.

В результате, ПЛК в соответствии с заданной уставкой давления совершает управляющее воздействие на РК1, который открывает/закрывает клапан подачи топлива. После чего измеряется расход топлива и под его величину, в требуемом соотношении, подаются распылители, расход которых также регистрируется расходомерами и регулируется с помощью РК2 и РК3.

В свою очередь, в системе имеется автоматизированное рабочее место оператора, которое позволяет ему с помощью персонального компьютера и ПО отслеживать на мнемосхеме необходимые параметры и иметь возможность влияние на ход технологического процесса.

В системе находится ряд измеряемых (температура, давление, расход, уровень) и регулируемых параметров (положение регулирующих клапанов). Перечень и номинальные значения измеряемых и регулируемых параметров выведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные измеряемые и регулируемые параметры

Параметр	Номинальное значение
Температура топлива в трубопроводе, °С	70
Температура воздуха в трубопроводе, °С	70
Температура горючей смеси в камере сгорания, °С	1000
Расход топлива, м ³ /ч	110
Расход воздуха, м ³ /ч	180
Расход воды от емкости, м ³ /ч	7810
Давление топлива в трубопроводе, МПа	1
Давление воздуха в трубопроводе, МПа	1
Уровень топлива в баке, м	2,6
Степень открытия клапана подачи топлива, %	0...100
Степень открытия клапана подачи первичного распылителя, %	0...100
Степень открытия клапана подачи вторичного распылителя, %	0...100

2.2 Разработка функциональной схемы

Функциональные схемы автоматизации (ФСА) представляют собой основные технические документы, в которых прописаны функциональные и блочные устройства отдельных узлов и элементов.

Функциональная схема АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.003 С2.

Изображение технологического комплекса на ФСА регламентируется ГОСТ 21.403-80. На функциональной схеме условно изображают технологический процесс (технологическую схему объекта), принцип его действия, оборудование, средства связи, управления, приборы и средства автоматизации, а также связи между ними [33, 34].

При разработке ФСА на первой стадии были определены измерительные каналы (1...18, 20, 22, 24, 26), каналы управления (27...30) и каналы регулирования (19, 21, 23, 25). Температура в топливном баке измеряется с помощью датчика температуры 1а. Для измерения расхода топлива используется расходомер 14б. Расходы первичного и вторичного распылителя измеряются с помощью расходомеров 15б и 16б соответственно.

Также на схеме приведен контур подогреваемой магистрали, изображенный в правой части ФСА. Температура воды на входе и выходе из камеры сгорания (КС) измеряется датчиками температуры 4а и 7а соответственно. Расход воды измеряется с помощью расходомера 17б.

Давление в баках первичного и вторичного окислителей измеряется датчиками давления 10а и 12а соответственно. Уровень топлива в баке измеряется уровнемером 18а.

Регулирующими клапанами 19б, 21б и 23б осуществляется регулирование расхода топлива, первичного и вторичного распылителя,

соответственно. По каналам 20, 22, 24, 26 ПЛК получает данные о положении регулирующих клапанов. Каналы 27, 28, 29, 30 служат для включения насоса топлива, компрессора первичного распылителя, компрессора вторичного распылителя и водяного насоса, соответственно.

На листе в верхней части ФСА отображена технологическая схема процесса с необходимыми составными элементами, первичные преобразователи измеряемых технологических параметров и регулирующие устройства. В нижней части листа показаны приборы, монтированные по месту и шкаф управления с установленным на нем ПЛК.

2.3 Выбор технических средств автоматизации

Для создания качественной работы АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций требуется контролировать перечень параметров, указанный в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Перечень входных/выходных сигналов

№ п/п	Наименование параметра	Единицы измерения	Предел измерения	Тип сигнала
1	Температура топлива в баке	°С	20...70	AI
2	Температура в камере сгорания(КС)	°С	20...1000	AI
3	Температура в топливном канале на входе в КС	°С	20...70	AI
4	Температура в водном канале на входе в КС	°С	20...70	AI
5	Температура в канале первичного распылителя	°С	20...70	AI
6	Температура в канале вторичного распылителя	°С	20...70	AI
7	Температура в водном канале на выходе из КС	°С	20...70	AI
8	Давление топлива в баке	МПа	0,01...0,04	AI
9	Давление в камере сгорания	МПа	0,1...1,6	AI

Продолжение таблицы 2.2

№ п/п	Наименование параметра	Единицы измерения	Предел измерения	Тип сигнала
10	Давление в баке первичного распылителя	МПа	0,1...0,8	AI
11	Давление в канале первичного распылителя на входе в КС	МПа	0,1...0,8	AI
12	Давление в баке вторичного распылителя	МПа	0,1...0,8	AI
13	Давление в канале вторичного распылителя на входе в КС	МПа	0,1...0,8	AI
14	Расход топлива	м ³ /ч	0...110	AI
15	Расход первичного распылителя	м ³ /ч	0...180	AI
16	Расход вторичного распылителя	м ³ /ч	0...180	AI
17	Расход воды	м ³ /ч	0...7810	AI
18	Уровень топлива в баке	м	0...2,6	AI
19	Положение задвижки 1	%	0...100	AI
20	Положение задвижки 2	%	0...100	AI
21	Положение задвижки 3	%	0...100	AI
22	Положение задвижки 4	%	0...100	AI
23	Открыть/закрыть РК-1	-	-	AO
24	Открыть/закрыть РК-2	-	-	AO
25	Открыть/закрыть РК-3	-	-	AO
26	Открыть/закрыть РК-4	-	-	AO
27	Включить/выключить топливный насос	-	-	DO
28	Включить/выключить компрессор первичного распылителя	-	-	DO
29	Включить/выключить компрессор вторичного распылителя	-	-	DO
30	Включить/выключить водяной насос	-	-	DO

Для разработки АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций необходимо

выбрать: ПЛК; датчики измерения температуры, давления, расхода, уровня; исполнительные механизмы (ИМ); пускатели для ИМ; контакторы для насосов и компрессоров.

Производить выбор будем, опираясь на цену, диапазон измеряемых значений, степень пыле- и влагозащиты, класс допуска.

2.3.1 Выбор регулирующего устройства

Рассмотрим ПЛК «Micro870» производства «Allen-Bradley» – автоматический регулятор, предназначенный для управления крупными автономными машинами, требующими гибкой связи и расширенных возможностей ввода-вывода. Эти контроллеры поддерживают до 304 точек ввода-вывода с высокопроизводительным вводом-выводом, прерываниями и импульсным выходом, а также встроенным портом Ethernet и модулями ввода-вывода расширения Micro800, предназначенный для создания систем управления малыми и средними объектами. Технические характеристики контроллера представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики ПЛК «Micro870» [35]

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Напряжение питания	+24 В
2	Тип процессора	Cortex ARM8
3	Потребляемая мощность	7 Вт
4	Диапазон рабочих температур	-20...+65 °С
5	Аналоговых входов	8 шт. с возможностью расширения
6	Аналоговых выходов 0...10 В	2 шт.
7	Аналоговых выходов с ШИМ	2 шт.

Продолжение таблицы 2.3

№ п/п	Наименование параметра	Значение
8	Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
9	Интерфейс связи	RS-232, RS-485
10	Масса прибора	0,4 кг

Далее рассмотрим «ОВЕН» ПЛКхх (ПЛК63/ПЛК73) – ряд небольших моноблочных контроллеров с дискретными и аналоговыми входами/выходами для автоматизации малых систем. Технические характеристики контроллера приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики ПЛК «ОВЕН ПЛК 63» [36]

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Напряжение питания	90...245 В, до 63 Гц
2	Тип процессора	Cortex ARM8
3	Потребляемая мощность	18 ВА
4	Тип дисплея	Текстовый монохромный ЖКИ с подсветкой
5	Аналоговых входов	8 шт.
6	Аналоговых выходов 0...10 В	6 шт.
7	Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
8	Интерфейс связи	RS-232, RS-485
9	Среда программирования	CODESYS 2.3 (версия 2.3.8.1 и более старшая)

Также рассмотрим ПЛК «ЭЛСИ-ТМК», который является сильной модульной платформой, разработанной для построения систем автоматизации малого и среднего размера во всех сферах производства [37].

Технические характеристики ПЛК «ЭЛСИ-ТМК» приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики ПЛК «ЭЛСИ-ТМК» [37]

Наименование характеристики, единица измерения		Значение
Напряжение питания от источника постоянного тока, В (при использовании модуля источника питания ТР 712)		24 ± 4
Напряжение питания от источника постоянного тока, В (при использовании модуля источника питания ТР 711)		127...370
Напряжение питания от сети переменного тока частотой (50 ± 1) Гц, В (при использовании модуля источника питания ТР 711)		90...264
Потребляемая мощность, не более:	с количеством модулей не более шести, при питании от сети постоянного тока, В·А	70
	с количеством модулей не более шести, при питании от сети переменного тока, Вт	70
	с количеством модулей не более 10, при питании от сети постоянного тока, В·А	90
	с количеством модулей не более 10, при питании от сети переменного тока, Вт	90
Степень защиты от внешних воздействий, обеспечиваемая оболочкой		IP20
Средняя наработка на отказ*, ч, не менее		90 000

К отличительным свойствам ПЛК «ЭЛСИ-ТМК» можно отнести: повышение надежности системы с помощью резервирования питания и

каналов связи, незамедлительное возобновление процессов с помощью полного дублирования корзин контроллера, развитый механизм самодиагностики, поддержание стандартных интерфейсов и протоколов (ГОСТ Р МЭК 870-5-101), увеличенная номенклатура функциональных модулей.

ПЛК «ЭЛСИ-ТМК» позволяет использовать расширенный набор необходимых модулей, а именно: модули питания ТР, процессорные модули ТС, модули аналогового ввода/вывода ТА, модули дискретного ввода/вывода ТД и коммуникационные модули ТН.

Чтобы привести в исполнение задачу управления технологическим процессом требуется 44 аналоговых входа для измерения и регистрации параметров, поступающих от датчиков, 8 аналоговых выходов и 8 дискретных выходных сигналов.

Следовательно, самым наилучшим из разобранных моделей является ПЛК «ЭЛСИ-ТМК», модульная структура которого позволяет настроить контроллер под различные задачи. Блочная конфигурация «ОВЕН ПЛК 63» не имеет необходимого количества аналоговых выходов, а ПЛК «Micro870» производства «Allen-Bradley» дороже из всех разобранных моделей. Кроме того, ПЛК «ЭЛСИ-ТМК» работает с ПО «Codesys», в котором предполагается производство управляющей программы.

2.3.2 Выбор датчиков температуры

Рассмотрим датчик температуры «OPTITEMP TRA-F13» производства «KROHNE» (Германия) – промышленный датчик температуры для стандартных применений. Подходит для измерения температуры твердых веществ, жидкостей и газов в трубах и резервуарах при низких и средних давлениях и скоростях потока. Он рассчитан на работу при температуре до

+600 °C / +1100 °F. Особым преимуществом этого типа датчика является то, что его смачиваемые части могут быть покрыты (например, PTFE), что делает его устойчивым к агрессивным средам [38].

Далее, рассмотрим термопреобразователи «ТСМУ-205» производства «Элемер» (Россия), предназначенные для регистрации температуры жидких рабочих сред, химически неагрессивных и не поглощающих материал защитного корпуса датчика, сыпучих сред, а также преобразования сигнала в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА [38].

Также рассмотрим термопреобразователи сопротивления «ДТС-И» производства «ОВЕН» (Россия), предназначенные для измерения и безостановочного преобразования измеряемой температуры жидких, твердых, газообразных и сыпучих веществ в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4...20 мА. Эти датчики выпускаются на базе термометров сопротивления ДТСхх5 (50М, 100М, 100П, Pt100) и применяются в тех случаях, когда вторичные устройства работают только с унифицированными сигналами, а также, когда протяженность от точки измерения до вторичного устройства не более 100 метров [39].

В таблице 2.6 представлены технические характеристики датчиков.

Таблица 2.6 – Технические характеристики датчиков температуры

№ п/п	Наименование параметра	Средства автоматизации		
		ОРТИТЕМП TRA-F13	ТСМУ-205	ОВЕН ДТС-И
1	Датчик температуры	ОРТИТЕМП TRA-F13	ТСМУ-205	ОВЕН ДТС-И
2	Диапазон измерения	0...600 °C	0...300 °C	0...500 °C
3	Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
4	НСХ	PT100	100М	PT100
5	Класс точности	0,5	0,25	0,5

Продолжение таблицы 2.6

№ п/п	Наименование параметра	Средства автоматизации		
		IP65	IP65	IP54
6	Пыле – и влагозащита	IP65	IP65	IP54
7	Цена	17778	4185 руб.	7038 руб.

Опираясь на цену, а также степень пыле- и влагозащиты, выбираем датчик «ТСМУ-205 100М» от производителя «Элемер» (Россия).

2.3.3 Выбор датчиков давления

Рассмотрим датчики давления «Метран-150», предназначенные для работы в системах автоматического контроля и регулирования технологических процессов в различных отраслях промышленности. Они обеспечивают непрерывное преобразование измеренных значений избыточного, абсолютного давления, перепада давления, гидростатического давления нейтральной и агрессивной среды в унифицированный токовый выходной сигнал и цифровой сигнал на основе HART-протокола [40].

Далее, рассмотрим датчик давления «А-10» производства «WIKA» (Германия), который используется для измерения избыточного, абсолютного, мановакуумметрического давления и рассчитан на низкие диапазоны. Такие датчики используются в машиностроении, контрольно-измерительных процессах, гидравлике, насосах и компрессорах [41].

Также, рассмотрим датчик «МИДА-ДИ 13П-ОМ20» производства «BD SENSORS» (Россия), предназначенный для общепромышленного применения, который отличается не только своей компактной конструкцией, но и превосходным качеством по чрезвычайно конкурентоспособной цене. При помощи встроенного преобразователя осуществляется активная компенсация

характеристик датчика (температурная погрешность), а также формируется выходной сигнал 4...20 мА. Более того, имеется возможность ручной настройки датчика в режиме цифрового управления (HART). Электрическое подключение выполняется с помощью обжимного соединения и PG фитинга [42].

В таблице 2.7 отображены технические характеристики этих датчиков.

Таблица 2.7 – Технические характеристики датчиков давления

№ п/п	Наименование параметра	Средства автоматизации		
		Метран-150	А-10	МИДА-ДИ 13П-ОМ20
1	Датчик давления	Метран-150	А-10	МИДА-ДИ 13П-ОМ20
2	Измеряемая среда	агрессивные жидкости, пары, газы	газ, жидкость, нефтепродукты	вода, газы, жидкости топлива
3	Верхние пределы измерений	68 МПа	100 МПа	От (0...0,16) кПа до (0...60) МПа
4	Предел допускаемой основной погрешности	0,5 %	1 % (0,5 % – на заказ)	0,1 %
5	Диапазон температур измеряемой среды	- 45...125 °С	0...80 °С (- 30...100 °С по запросу)	0...80 °С (- 40...300 °С по запросу)
6	Степень защиты	IP65	IP65, IP67	IP65

Продолжение таблицы 2.7

№ п/п	Наименование параметра	Средства автоматизации		
		7	Присоединение к системе	M20x1,5
8	Цена	32630 руб.	5990 руб.	15100 руб.

Исходя из необходимого диапазона температур измеряемой среды и верхнего предела измерений, выбираем датчик избыточного давления «МИДА-ДИ 13П-ОМ20» производства «BD SENSORS» (Россия).

2.3.4 Выбор средств измерения расхода

Рассмотрим дифференциальные преобразователи переменного перепада давления типа «OPTIBAR DP 7060» производства «KROHNE» (Германия). Преобразователь состоит из узла расходомера со встроенной диафрагмой и представляет собой расходомер дифференциального перепада давления, специально разработанный для небольших размеров линий, где шероховатость поверхности, сварные швы и другие геометрические дефекты оказывают относительно большое влияние на погрешность измерения. Таким образом, расходомер DP имеет минимальную длину входной и выходной трубы, что сводит к минимуму дополнительные неопределенности установки. Он подходит для измерения процессов и распределения газов и жидкостей, включая вязкие жидкости. «KROHNE» предлагает комплектную диафрагму в сборе с расходомером, преобразователем перепада давления, клапанами, принадлежностями, инженерными разработками и документацией. Расходомер DP предназначен для измерений объемного, массового расхода воды и различных агрессивных сред. Особенности данного расходомера:

многоуровневая защита от несанкционированного доступа; графический дисплей с подсветкой, содержащий всю необходимую контрольную и эксплуатационную информацию; конструктивная защита от протечек и конденсата; наличие коммуникационных адаптеров Ethernet, RS-232 [43].

Расходомер «Метран-370» (Россия) применяется в системах автоматического контроля и управления технологическими процессами и предназначен для измерения объемного расхода электропроводящих жидкостей и суспензий [44].

В таблице 2.8 приведены технические характеристики данных датчиков.

Таблица 2.8 – Технические характеристики дифференциальных преобразователей давления

№ п/п	Параметр	Средства автоматизации	
		ОПТИВАР DP 7060	Метран-370
1	Название	ОПТИВАР DP 7060	Метран-370
2	Условный диаметр	80 мм	80 мм
3	Максимальный расход	200 м ³ /ч	171,7 м ³ /ч
4	Рабочее давление измеряемой среды, не более	1,6 МПа	4 МПа
5	Температура измеряемой среды	0...150 °С	-29...180 °С
6	Материал фланца	Нержавеющая сталь	Сталь 20 или нержавеющая сталь
7	Напряжение питания	12 В постоянного тока	12 В постоянного тока

Продолжение таблицы 2.8

№ п/п	Параметр	Средства автоматизации	
		IP66	IP68
8	Пыле – и влагозащита	IP66	IP68
9	Цена	31350 руб.	3400 руб.

Следовательно, поскольку характеристики рассматриваемых приборов практически одинаковы, то выберем наиболее дешевый вариант – «Метран-370» (Россия).

2.3.5 Выбор датчика уровня

Рассмотрим радарный уровнемер «NivoRadar 3000». Прочная конструкция из нержавеющей стали делает «NivoRadar 3000» чрезвычайно подходящим для всех видов промышленного применения. Устройство работает на высокой частоте 78 ГГц, благодаря чему достигается очень малый угол луча, который устраняет любые помехи сигнала на фланце и обеспечивает оптимальное отражение сыпучих материалов. Направляющие фланцы можно отрегулировать, чтобы обеспечить идеальное позиционирование «NivoRadar 3000», т. е. угол луча можно установить в определенной точке. Линзовая антенна обладает высокой устойчивостью к отложениям материала и предлагает функцию самоочистки от чрезвычайно липких твердых частиц с помощью соединения с продувкой воздухом. Подключаемый дисплей позволяет программировать и проводить диагностику на месте, что делает установку и эксплуатацию устройства достаточно простой.

Далее, рассмотрим радарный уровнемер «JFR FMCW», представляющий собой бесконтактное измерительное устройство,

подходящее для высоких температур, высокого давления и агрессивных сред. Он прост в установке и не требует обслуживания, особенно в условиях высокой точности. Радар «JFR FMCW» принимает высокочастотный сигнал, который излучается через антенну и увеличивает частоту на 0,5 ГГц во время измерения, отражается от поверхности цели и принимается с временной задержкой. Разность частот, которая вычисляется из частоты передачи и частоты приема прямо пропорциональна измеренному расстоянию (или поверхности материала). Затем разность частот обрабатывается с помощью преобразования Фурье для идентификации сигнала на промежуточной частоте. Этот FMCW-радар обладает встроенным усилением сигнала/шума и фильтрацией обратного эха с помощью схемы фазовой автоподстройки частоты, что является лучшим решением для сложных условий и высокоточных измерений.

Также, рассмотрим уровнемер «SITRANS» серии «LR560» (2-х проводной) с частотой 78 ГГц, который содержит узкий конус луча 4° и небольшую длину волны. И другую его серию «LR460» (4-х проводной) с частотой 25 ГГц, который содержит рупорную антенну с конусом луча 8° и предназначен для веществ с низкой диэлектрической проницаемостью.

Технические характеристики уровнемеров представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технические характеристики датчиков уровня

№ п/п	Тип	NivoRadar 3000	JFR FMCW	SITRANS LR460
1	Температура материалов, °С	-40...+200	-40...+150	0...+150
2	Плотность материала	от 20 г/л	от 60 г/л	от 5 г/л
3	Взрывозащита	есть	нет	нет

Проанализировав полученные характеристики, можно сделать вывод, что в качестве измерения уровня вязкого топлива наилучшим вариантом является датчик уровня «NivoRadar 3000», также дополнительно обладающий взрывозащитой.

2.3.6 Выбор исполнительного механизма

Для того, чтобы выбрать исполнительный механизм рассчитаем максимальное значение крутящего момента по формуле:

$$M_{max}^{kp} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 80 - 338 = 213,2 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.1)$$

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

D_y – диаметр трубопровода, мм.

Исходя из расчета, выбираем ИМ типа «МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б)» с номинальным значением момента на выходном валу 250 Н·м. Выбранный ИМ обеспечен токовым датчиком положения выходного вала. Питание выполняется от сети трехфазного переменного тока 380 В. Цена составляет 22752 рублей [45].

2.3.7 Выбор пускателя для исполнительного механизма

Реверсивные бесконтактные пускатели двигателей «ПБР-3И» производства «ЗЭиМ» применяются в системах автоматического регулирования технологическими процессами и предназначены для бесконтактного управления электрическими ИМ, в приводе которых находятся трехфазные электродвигатели с электрической мощностью до 4,5 кВт [45]. Блок состоит из преобразователя питания, микропроцессора, двух интерфейсных каналов RS-485 и входов аналоговых сигналов регулирования.

2.3.8 Выбор контактора для насосов и компрессоров

Контакторы КМЭп Proxima состоят из корпуса, закрепленных в нем неподвижных контактов, подвижных контактов, которые закреплены в подвижной части магнитной системы. Неподвижная часть магнитной системы жестко закреплена в корпусе КМЭп. Пружина препятствует смыканию контактов. При подаче напряжения на катушку управления в магнитной системе контактора возникает магнитное поле, которое, преодолевая сопротивление пружины, смыкает магнитную систему и замыкает контакты. При отключении напряжения с катушки управления пружина размыкает контакты. Возможна коммутация алюминиевым и медным проводником [45].

На основании произведенного выбора технических средств составлена заказная спецификация приборов и средств автоматизации, приведенная в отдельном документе с шифром ФЮРА.421000.003 СО1.

2.4 Разработка монтажной схемы

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой представляют электрические и трубные взаимодействия между приборами, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам [46]. Схемы соединений и все подключения выполняют по ГОСТ 2.301-68 [47]. Размер линий, изображающих устройства и элементы схем, в том числе кабели, провода, трубы, должны быть от 0,4 до 1 мм. На схемах должно быть наименьшее число изломов и пересечений проводок. Расстояние между соседними параллельными проводками, а также между соседними изображениями приборов и средств автоматизации должно быть не менее 3 мм.

Для АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций схема соединений внешних проводок представлена в документе с шифром ФЮРА.421000.003 С5.

На листе вверху чертежа располагается таблица с поясняющими надписями, состоящая из названия параметра и места отбора импульса этого параметра (позиции прибора). В центральной части чертежа под таблицей располагаются изображения преобразователей температуры, давления, расхода и уровня, а также насосы, компрессоры, регулирующие клапаны, устанавливаемые на технологическом оборудовании и трубопроводах.

С помощью электрических кабелей (КВВГ, КРВГ) различной длины электрическими линиями соединяются первичные преобразователи и щит управления. Линии связи пронумерованы и объединены в клеммные коробки КСК. Также на схеме находится подвод питания к щиту управления.

2.5 Разработка схемы электрической соединений

Схема электрическая соединений отражает полный состав приборов и средств автоматизации, а также соединения между ними. Устройства изображаются в виде прямоугольников, элементы – в виде условных графических изображений, установленных в ЕСКД (единой системе конструкторской документации). Рядом с условными графическими обозначениями устройств указывают позиционные обозначения. Также на схеме обязательно указывают обозначения вводов/выводов контактов элементов.

Линии связи обязаны изображаться только горизонтальными и вертикальными отрезками и иметь минимальное количество пересечений для упрощения их чтения. Расстояние между соседними параллельными линиями должно быть не менее 5 мм [48].

Одновременно с проектированием чертежа электрической схемы должен составляться перечень элементов, входящих в щит. Схема электрическая соединений и перечень элементов электрической схемы представлены в отдельном документе с шифром ФЮРА.421000.003 Э4 и ФЮРА.421000.003 ПЭ4, соответственно.

Питание в щит управления поступает через блок зажимов ХТ0. В щите предусмотрена розетка ХS1. Питание устройств внутри щита выполняется с помощью источника бесперебойного питания EF UPS 1AC/24DC-8, который преобразует напряжение сети переменного тока (220 В) в постоянное напряжение (24 В). Для прекращения подачи напряжения на источник бесперебойного питания, розетку и вентилятор используются выключатели QF1, QF2 и QF3. Ввод аналоговых сигналов на модули ПЛК и выдача управляющих воздействий осуществляются с помощью разделительных преобразователей ET-422, обеспечивающих гальваническую развязку контроллера и полевых цепей. Через клеммные блоки ХТ-АI1, ХТ-АI2 по линиям связи с помощью аналоговых сигналов 4...20 мА осуществляется передача информации с датчиков в ПЛК. Сигналы управляющего воздействия на регулирующие клапаны и насосы, компрессоры реализуются с ПЛК ЭЛСИ-ТМК через клеммные блоки ХТ-АО1 и ХТ-DO1, соответственно.

2.6 Разработка сборочного чертежа шкафа управления

Шкаф управления (ШУ) является одним из важнейших элементов оборудования любого промышленного объекта. Очевидно, что оборудование в промышленном, производственном и коммерческом секторах автоматизируется. В то же время за такой автоматизацией необходимо следить. Здесь на помощь приходят шкафы управления. Они используются для контроля и управления основных параметров протекающих

технологических процессов обслуживаемых систем. Шкафы управления сконструированы таким образом, что они доставляют оператору сообщения о мониторинге и функционировании различного оборудования на объекте. Панели управления ПЛК могут быть интегрированы и, следовательно, могут предоставлять данные даже удаленно с помощью различных средств.

Сборочный чертеж – это технический чертеж, который обеспечивает визуальное представление компоновки шкафа или корпуса, используемого для размещения оборудования, такого как электрические или электронные компоненты. Цель этого чертежа – показать расположение оборудования внутри шкафа, а также его размеры и любые соответствующие детали, такие как кабельные вводы или точки крепления. Сборочные чертежи обязаны быть выполнены в объеме, позволяющем изготовить устройство на специализированных заводах со всеми вырезами и креплениями, требуемыми для установки средств автоматизации и проводок.

Исходя из конструктивных особенностей, среди которых степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы в операторском помещении выберем шкаф высотой 1250 мм, шириной 690 мм и глубиной 300 мм ЩМП-7-0 36 УХЛЗ IP31 производства компании ИЕК [49].

Сборочный чертеж шкафа управления представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.003 СБ.

Модули контроллера устанавливаем в верхней части шкафа управления. Блоки, входящие в состав системы монтируем на рейку DIN-35. В нижней части шкафа располагаем клеммные сборки.

Спецификация шкафа управления приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.003 СП.

3 Расчет параметров настройки ПИ – регулятора

Условия, предъявляемые к регулятору, заключаются в ограничении перерегулирования (действующие правовые нормы допускают отклонение температуры сетевой воды до $\pm 3\%$) и времени регулирования (не более 15 с, так как данный параметр непосредственно связан с быстродействием системы, а также эффективностью сжигания топлива).

3.1 Идентификация объекта регулирования

Идентификация систем – это методология построения математических моделей динамических систем с использованием измерений входных и выходных сигналов системы [50].

Процесс идентификации системы требует:

- измерить входные и выходные сигналы системы во временной или частотной области;
- выбрать структуру модели;
- применить метод оценки, чтобы оценить значения для регулируемых параметров в структуре модели;
- оценить предполагаемую модель, чтобы убедиться, что модель соответствует необходимым потребностям.

Модель представляет собой математическую связь между входными и выходными переменными системы. Модели динамических систем обычно описываются дифференциальными или разностными уравнениями, передаточными функциями, уравнениями в пространстве состояний и моделями с нулевым коэффициентом усиления.

Для получения кривой разгона использована динамическая модель изменения температуры в трубопроводе сетевой воды. Модель получена на

основании экспериментальных исследований. Кривая разгона представлена на рис. 3.1.

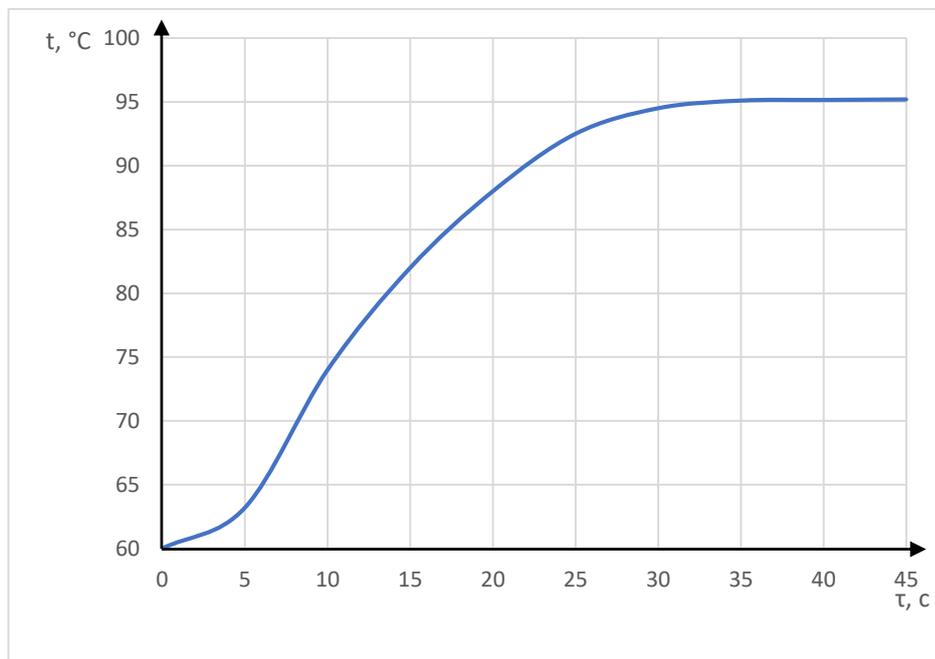


Рисунок 3.1 – График кривой разгона объекта регулирования

На полученном графике проводим касательную в максимальной точке скорости изменения величины (рис. 3.2) и идентифицируем динамические параметры объекта: коэффициент передачи, постоянную времени и время запаздывания. Для данной кривой разгона передаточная функция записывается в виде апериодического звена с запаздыванием [51]:

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

где T – постоянная времени; p – оператор Лапласа; k – коэффициент усиления; τ – время запаздывания.

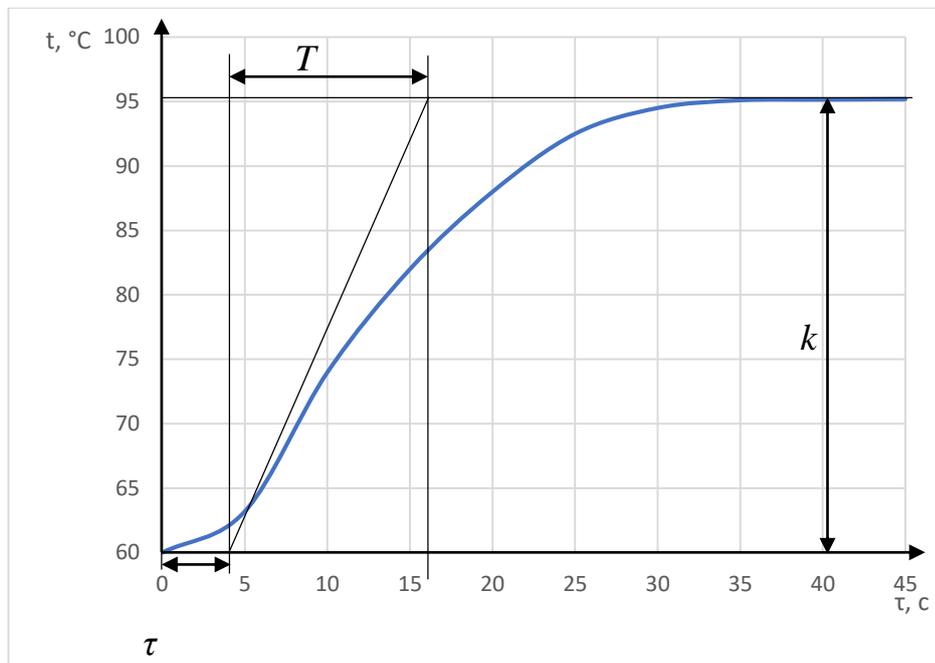


Рисунок 3.2 – График кривой разгона объекта регулирования

По полученному графику определяем значения динамических параметров объекта ($k = 35^\circ\text{C}$, $\tau = 4\text{ с}$, $T = 12\text{ с}$) и подставляем в формулу 3.1:

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

На рис. 3.3 показана структурная схема системы регулирования.

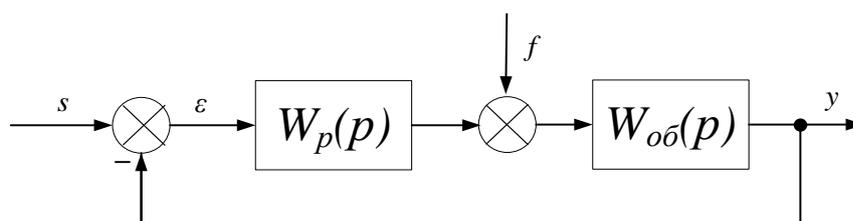


Рисунок 3.3 – Структурная схема системы регулирования

3.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора

Для расчёта определения оптимальных параметров необходимо провести синтез системы автоматического регулирования. Главный смысл метода заключается в том, чтобы выбором параметров системы регулирования эффективно расширить горизонтальный участок амплитудно-частотной характеристики системы в области низких частот, что будет способствовать увеличению диапазона пропускаемых частот, и в целом быстродействию системы. В математическом виде метод записывается следующей формулой:

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

где z – число варьируемых параметров системы.

Запишем и упростим передаточную функцию разомкнутой системы:

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

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

где $k_1 = k_p / T_H$.

Запишем передаточную функцию замкнутой системы:

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

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

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

Таким образом, получаем систему уравнений:

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

где $T = T_0 / \tau$.

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

$$4 \cdot 35 \cdot \frac{k_p}{T_u} = \frac{6 \cdot 9 + 6 \cdot 3 + 3}{4 \cdot (3 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1)};$$

$$35 \cdot k_p = \frac{6 \cdot 27 + 6 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1}{4 \cdot (3 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1)}.$$

После упрощения получаем следующие значения:

$$T_H = 12,05; \quad k_p = 0,0436.$$

Передаточная функция регулятора примет вид:

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

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

Передаточная функция АСР по каналу регулирующего воздействия:

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

Чтобы рассчитать переходный процесс в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия, требуется определить вещественную частотную характеристику системы (ВЧХ). Для этого в программе Mathcad зададим начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$ и при изменении частоты до $\omega = 0,75 \text{ с}^{-1}$ рассчитаем ВЧХ объекта. Результаты расчета представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

ω, c^{-1}	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$						
0	1	0,2	-0,19241	0,4	-0,45431	0,6	-0,11861
0,02	0,97626	0,22	-0,23893	0,42	-0,41628	0,62	-0,99534
0,04	0,93853	0,24	-0,35801	0,44	-0,37736	0,64	-0,07493
0,06	0,87583	0,26	-0,44802	0,46	-0,33881	0,66	-0,05424
0,08	0,78813	0,28	-0,50786	0,48	-0,30143	0,68	-0,03617
0,1	0,67589	0,3	-0,54018	0,5	-0,26576	0,7	-0,02961
0,12	0,54046	0,32	-0,55951	0,52	-0,23207	0,72	-0,01444
0,14	0,38697	0,34	-0,54101	0,54	-0,20051	0,74	-0,00157
0,16	0,22992	0,36	-0,52961	0,56	-0,17111	0,75	-0,11861
0,18	0,04859	0,38	-0,49958	0,58	-0,14383		

На основании данных таблицы 3.1 построим график ВЧХ системы, представленный на рис. 3.4.

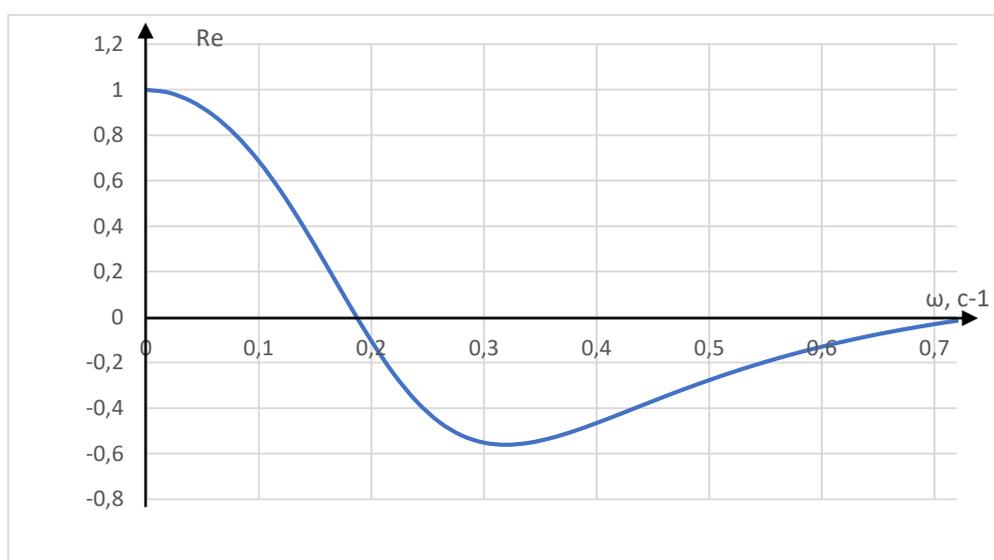


Рисунок 3.4 – График ВЧХ системы

Переходная характеристика связана с ВЧХ системы формулой:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,72} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega. \quad (3.8)$$

где ω – частота, t – время переходного процесса, $\text{Re}(\omega)$ – ВЧХ системы.

Переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия представлен на рис. 3.5.

Чтобы понять, насколько система удовлетворяет поставленным требованиям, воспользуемся прямыми оценками качества, определяемыми по переходной характеристике (рис. 3.5).

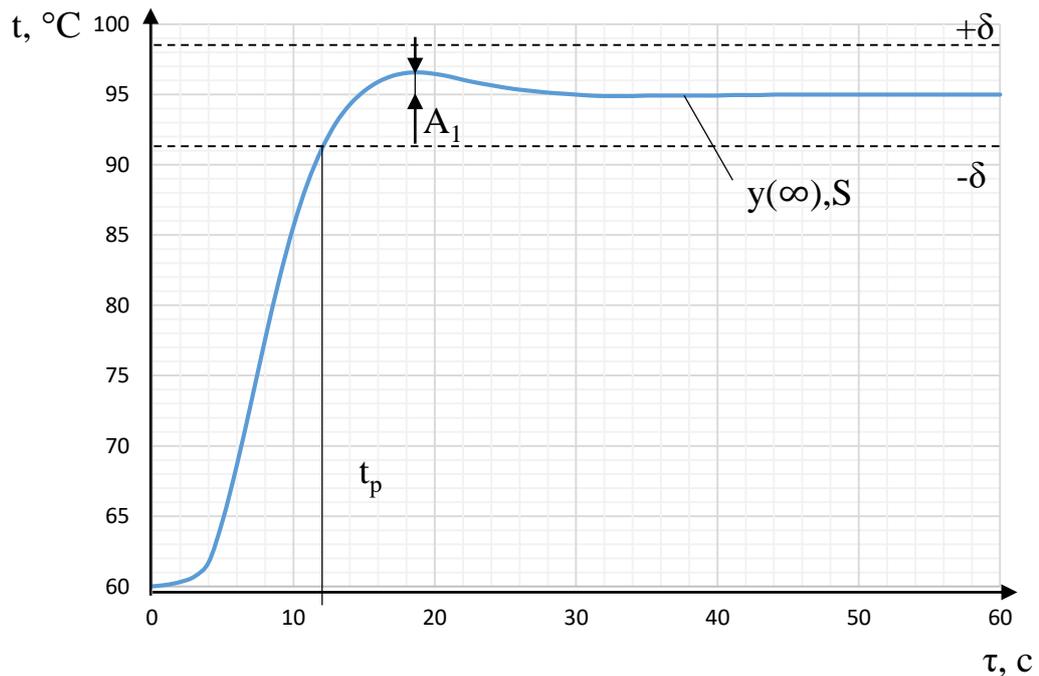


Рисунок 3.5 – Переходный процесс по каналу задающего воздействия

Прямые оценки качества [51]:

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

$$t_p = 12 \text{ с.}$$

2.Перерегулирование:

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

где t_{\max} – значение первого максимума, $y(\infty)$ – установившееся значение выходной величины.

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

3. Статическая ошибка:

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

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

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

4. Степень затухания переходного процесса:

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

где $A_2 = 0$ – значение второго максимума.

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

5. Максимальная динамическая ошибка:

$$A_1 = 1,54.$$

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

Передаточная функция замкнутой АСР по каналу возмущения:

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

Запишем передаточную функцию системы:

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

Чтобы рассчитать переходный процесс в замкнутой АСР по каналу возмущения, требуется определить вещественную частотную характеристику системы (ВЧХ). Для этого в программе Mathcad зададим начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$, шаг по частоте $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$ и при изменении частоты до

$\omega=0,75 \text{ c}^{-1}$ рассчитаем ВЧХ объекта. Результаты расчета представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

ω, c^{-1}	$\text{Re}_{з.с.}(\omega)$						
0	0	0,2	5,157	0,4	-10,217	0,6	-3,456
0,02	2,063	0,22	1,176	0,42	-9,621	0,62	-2,986
0,04	6,811	0,24	-2,233	0,44	-9,038	0,64	-2,405
0,06	11,998	0,26	-5,284	0,46	-8,211	0,66	-1,956
0,08	15,575	0,28	-7,644	0,48	-7,466	0,68	-1,597
0,1	17,328	0,3	-9,305	0,5	-6,727	0,7	-1,193
0,12	17,241	0,32	-10,331	0,52	-6,007	0,72	-0,721
0,14	15,603	0,34	-10,825	0,54	-5,316	0,74	-0,376
0,16	12,776	0,36	-11,021	0,56	-4,661	0,76	0
0,18	9,156	0,38	-10,668	0,58	-4,097		

На основании таблицы 3.2 построим график ВЧХ системы, представленный на рис. 3.6.

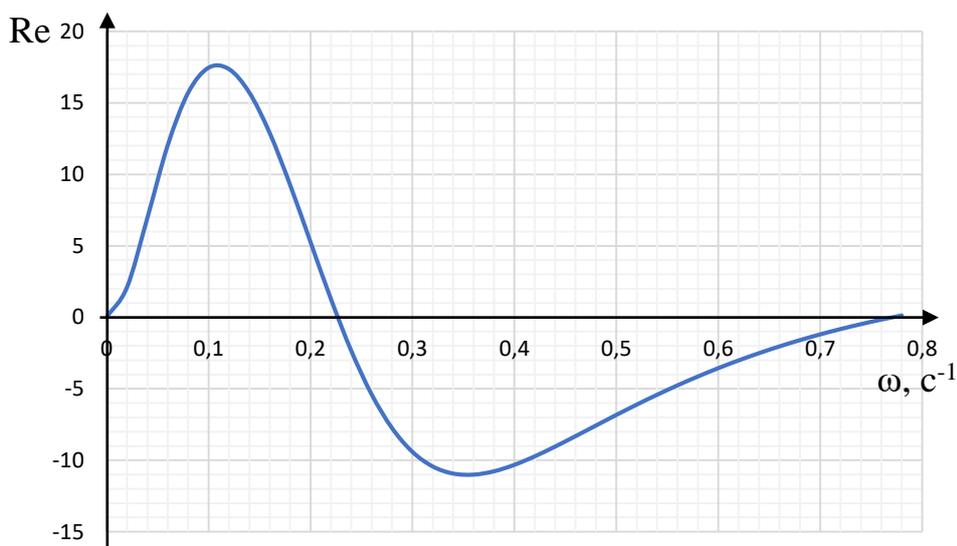


Рисунок 3.6 – График ВЧХ системы

Переходная характеристика связана с ВЧХ системы формулой:

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

где ω – частота, t – время переходного процесса, $\text{Re}(\omega)$ – ВЧХ системы.

Переходный процесс замкнутой системы по каналу возмущающего воздействия представлен на рис. 3.7.

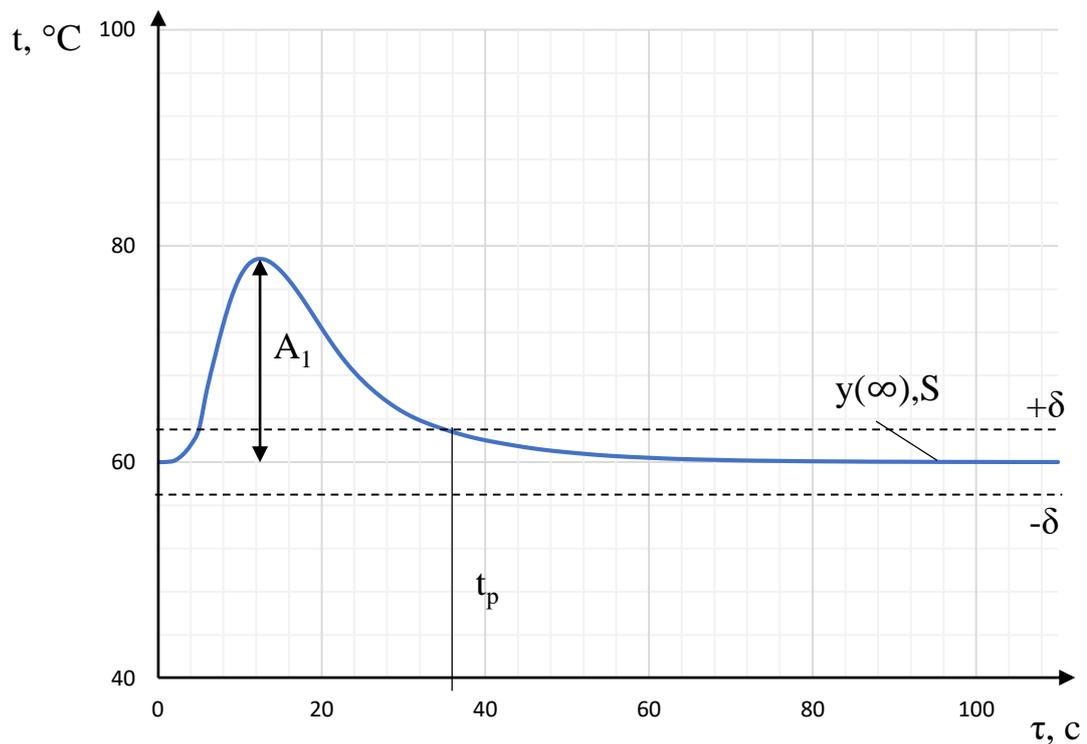


Рисунок 3.7 – Переходный процесс замкнутой АСР по каналу возмущения

Прямые оценки качества [51]:

1. Время регулирования:

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

2. Перерегулирование:

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

где $A_3 = 0$ – значение второго отклонения регулируемой величины.

3. Динамический коэффициент регулирования:

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

где $k = 35$ – коэффициент передачи объекта.

4. Степень затухания переходного процесса:

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

где $A_2 = 0$ – значение второго максимума.

5. Статическая ошибка:

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

6. Максимальная динамическая ошибка:

$$A_1 = 18,7.$$

Таким образом, были определены динамические характеристики объекта. По каналам задания и возмущения получены передаточные функции системы. По полученным оценкам качества, можно сделать вывод, что процессы удовлетворяют требованиям к запасу устойчивости системы.

4 Разработка мнемосхемы визуализации технологического процесса

Мнемосхемы определяются как разнообразные средства отображения информации, существенным элементом которых является условное графическое представление технологических или функционально-операционных звеньев в управляемой системе или объекте. Графически отображая операционную структуру объекта, взаимосвязь между различными параметрами, взаимозависимость показателей и органов управления, мнемосхема снижает нагрузку на память оператора, облегчает восприятие, переработку информации и принятие решений, в то же время играет роль визуальной поддержки информационной деятельности оператора.

Мнемосхемы, изображенные на мониторе, показывают технологический процесс в режиме реального времени.

Каждая мнемосхема обязана:

1. предоставлять целостное представление о технологическом процессе или функционировании отдельного технологического узла;
2. предоставлять оперативный контроль над технологическими процессами;
3. предоставлять возможность включения/отключения технологического оборудования;
4. располагать информацией о текущих измерениях технологических параметров и достижении аналоговыми и дискретными сигналами предельных и аварийных значений;
5. сигнализировать о недостоверности и отклонениях от нормы в технологическом процессе.

При создании интерфейса цвета должны быть легко распознаваемы и непохожи на цвета фона. Количество используемых цветов следует свести к

минимуму. Преимущественно отличаться формой, цветом должны сигналы состояния объекта и приборов (включен-отключен, открыт-закрыт).

В соответствии с вышеперечисленным разработана мнемосхема процесса вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций (рисунок 4.1).

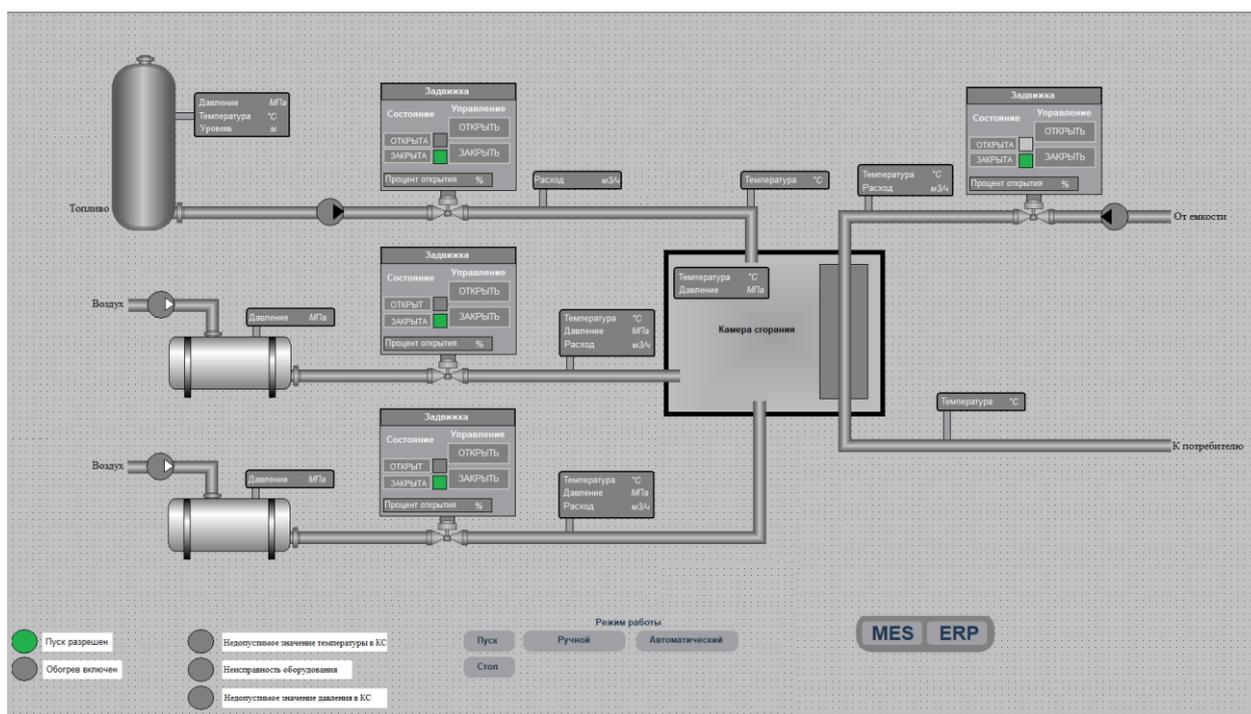


Рисунок 4.1 – Главное окно мнемосхемы

Полученная мнемосхема в центральной части содержит условное изображение технологического процесса с обозначением важнейших параметров. В нижней части мнемосхемы располагаются элементы управления технологическим процессом, а именно: выбор режима работы, запуск и приостановка процесса. Также в левом нижнем углу расположена панель сигнальных ламп, отличающихся по цвету (серый – отключенное состояние, зеленый – включенное, красный – неисправность оборудования). Помимо ламп на схеме применяется и индикация на самом объекте. Зеленый цвет – оборудование запущено, серый цвет – остановлено.

Для проверки работоспособности программного обеспечения запустим эмуляцию проекта. Осуществим тестирование программы в ручном режиме. Для этого нажмем кнопку «Ручной» и выполним пуск программы. Зеленые лампы индикации свидетельствует об успешном запуске оборудования (рисунок 4.2).

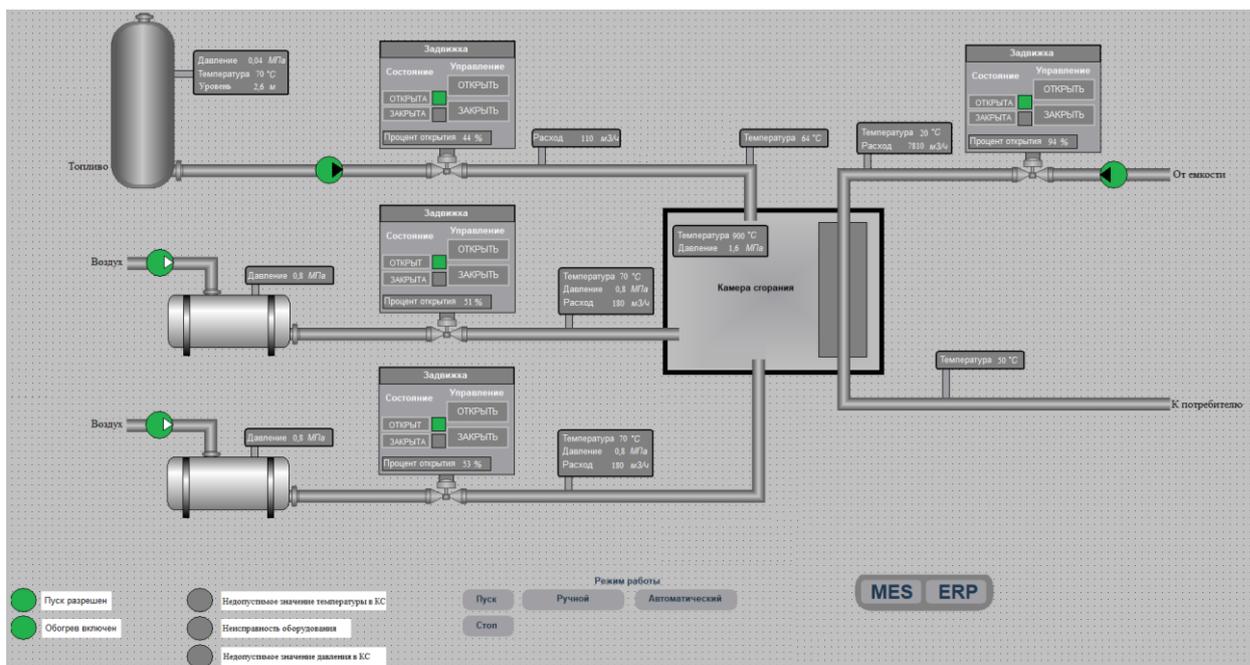


Рисунок 4.2 – Тестирование главного окна мнемосхемы в ручном режиме

На рисунке 4.3 показан экран мнемосхемы с выходом оборудования из строя. Случилось заклинивание регулирующего клапана на линии подачи распылителя, а также остановка насоса подачи подогреваемой воды. Красным цветом отображается неисправное оборудование, а также поломка оборудования видна в области сигнальных ламп.

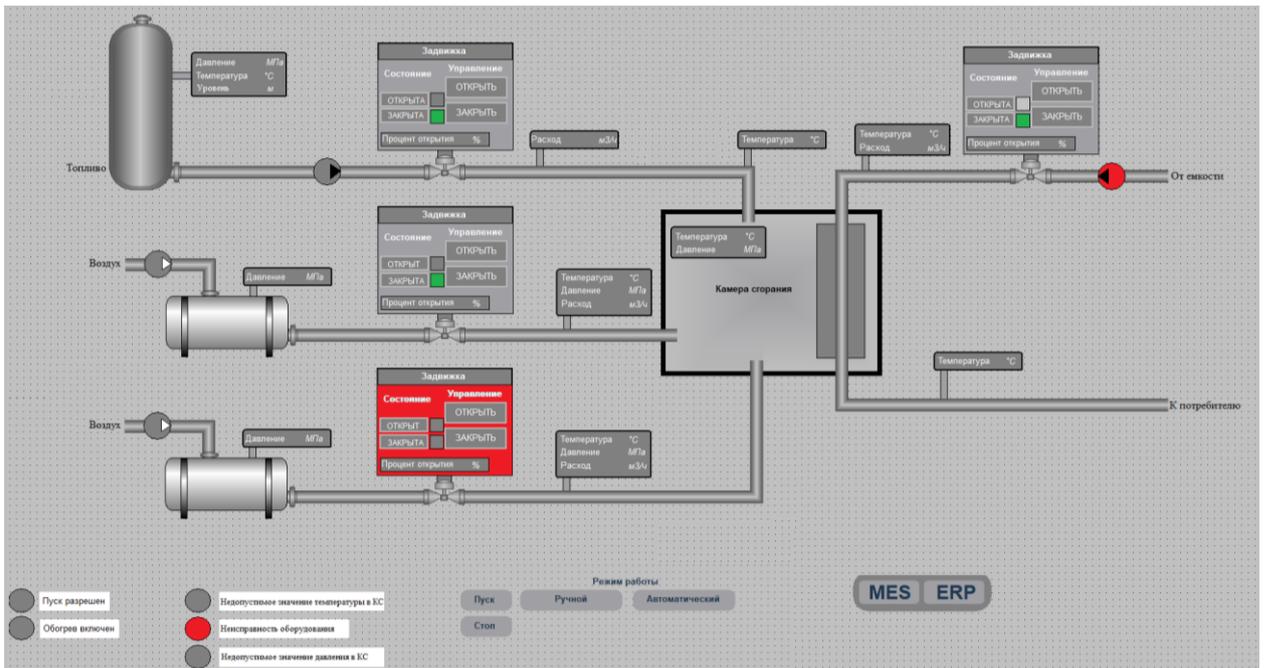


Рисунок 4.3 – Тестирование главного окна мнемосхемы во время поломки оборудования

Выполнив тестирование главного окна мнемосхемы и проанализировав рисунки 4.2, 4.3, можно сделать вывод об успешной работе мнемосхемы.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Забелину Илье Валерьевичу

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>- районный коэффициент - 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы - 1,12; - накладные расходы – 20%; - норма амортизации 15%.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	<i>Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации, проведение SWOT-анализа.</i>
2. Разработка устава научно-технического проекта	<i>Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта.</i>
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Забелин Илья Валерьевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках настоящей магистерской диссертации разрабатывается автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций. Внедрение АСУ ТП позволит минимизировать расход топлива, повысить характеристики процесса распыления топлив за счет использования вторичного распылителя и обеспечения качественной пропорции топливо-воздух, обеспечить экологическую и производственную безопасность, продлить срок службы оборудования, обеспечить безопасность персонала и т.п.

Цель работы заключается в расчете экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления технологическим процессом вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующий ряд задач:

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

В рамках данного проекта разрабатываемая система должна соответствовать высоким показателям ресурсоэффективности по основным критериям (безопасность, надежность, удобство эксплуатации, помехоустойчивость, энергосбережение).

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

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

Карта сегментирования рынка представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

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

Таким образом, по приведенной карте сегментирования можно сделать вывод о том, что основными потребителями являются средние теплоэнергетические компании, для которых перевод котельных агрегатов на водоугольное топливо показывает наиболее выгодный эффект.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

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

В ходе проведения анализа конкурентоспособности технических решений важным является выделение критериев оценки автоматизированных систем (сильные и слабые стороны). Данный анализ производится с помощью оценочной карты, представленной в таблице 5.2. Точка зрения конкурентов и разработки оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале (1 – наиболее слабая позиция, 5 – наиболее сильная). Веса показателей в сумме составляют 1.

Конкурентоспособность научной разработки рассчитывается с использованием следующей формулы:

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

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

Результаты анализа конкурентных технических решений представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

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

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

научные исследования, чтобы поддерживать конкурентоспособность своего товара на рынке.

5.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексное исследование технологического проекта. Его применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Для проектируемой АСУ, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также предполагаемые возможности и угрозы. Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT. При организации матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения [52]:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Повышение безопасности производства. С4. Уменьшение затрат на ремонт оборудования.	Слабые стороны проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл3. Дороговизна оборудования. Сл4. Трудность монтажа системы.
--	--	---

Продолжение таблицы 5.3

<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Снижение затрат на таможенные пошлины за счет малого количества иностранных компонентов. В4. Увеличение производительности системы.</p>	<p>В1С1С2С3. Высокая экономичность и энергоэффективность технологии, экологичность технологии, квалифицированный персонал и повышение безопасности производства позволяют обеспечить использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В4С1С2С3. Высокая экономичность и энергоэффективность технологии, экологичность технологии, квалифицированный персонал и повышение безопасности производства позволяют обеспечить увеличение производительности системы.</p>	<p>В2Сл1Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием и отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца могут затруднить появление дополнительного спроса на новый продукт. В4Сл3Сл4. Увеличение производительности системы может привести к трудности монтажа системы и дороговизне оборудования.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства. У2. Ограничения на экспорт технологии. У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции. У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства.</p>	<p>У4С1С2С4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства отрицательно влияет на высокую экономичность и энергоэффективность технологии, на экологичность технологии и может повлечь увеличение затрат на ремонт оборудования.</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием, отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца, трудность монтажа системы и дороговизна оборудования в совокупности могут вызвать отсутствие спроса на технологии производства.</p>

По SWOT матрице, представленной в таблице 5.3 видно, что наиболее коррелирующими сильными сторонами и возможностями являются: В1С1С2С3, В4С1С2С3, т.е. высокая экономичность и энергоэффективность технологии, экологичность технологии, квалифицированный персонал и повышение безопасности производства позволяют обеспечить использование инновационной инфраструктуры ТПУ и увеличение производительности энергоблоков.

Наиболее часто коррелирующие слабые стороны и возможности: В2Сл1Сл2 и В4Сл3Сл4, т.е. отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием и отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца могут затруднить появление дополнительного спроса на новый продукт. Увеличение производительности энергоблоков может привести к трудности монтажа системы и дороговизне оборудования.

Сильно коррелирующие сильные стороны и угрозы: У4С1С2С4, т.е. отсутствие финансового обеспечения со стороны государства отрицательно влияет на высокую экономичность и энергоэффективность технологии, на экологичность технологии и может повлечь увеличение затрат на ремонт оборудования.

Сильно коррелирующие слабые стороны и угрозы: У1Сл1Сл2Сл3Сл4, это означает, что отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием, отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца, трудность монтажа системы и дороговизна оборудования в совокупности могут вызвать отсутствие спроса на технологии производства.

Из выше приведенных результатов можно сделать вывод, что разрабатываемая система имеет как сильные, так и слабые стороны, однако слабые стороны по сравнению с сильными не существенны. Помимо этого, угрозы достаточно малы, что говорит о высокой надежности проекта

5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для определения стадии жизненного цикла научной разработки необходимо оценить степень ее готовности к коммерциализации. Оценка степени готовности представлена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
	Итого	45	45

При проведении анализа по таблице 5.4, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Таким образом, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл

означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где: $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Таким образом, можно сделать вывод, что перспективность разработки научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика находятся на одном уровне и имеют среднюю перспективность.

Вывод: Необходимо проработать слабые стороны проекта и улучшить показатели выхода на мировой рынок. Для дальнейшего развития проекта и подготовки его к коммерциализации необходимо провести анализ рынка сбыта и разработать бизнес-план по продвижению продукта на рынок. В будущем также необходимо рассмотреть возможность международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок. Так как уровень компетенций разработчиков в сфере коммерциализации не является достаточным, поэтому в дальнейшем потребуются привлечение дополнительных специалистов в команду проекта. Необходимо также сосредоточить свое внимание на вопросах финансирования научной разработки при ее коммерциализации,

рассмотреть возможности использования услуг инфраструктуры поддержки и получения льгот.

5.5 Инициация проекта

5.5.1 Цели и результат проекта

Информация о заинтересованных сторонах проекта, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты в результате завершения проекта, представлены в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Удовлетворение потребностей страны в высококвалифицированных специалистах
Разработчик проекта (магистрант)	Получение системы с новыми технологическими показателями
Теплоэнергетические предприятия	Появление новой материально выгодной АСУ ТП с улучшенными показателями

В таблице 5.6 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях их достижения.

Таблица 5.6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получение системы с новыми технологическими показателями.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение системы с улучшенными характеристиками распыления топлив.
Критерии приемки результата проекта:	Эффективность готовой полученной системы в результате исследования. Улучшение характеристик распыления топлив.
Требования к результату проекта:	Требования:
	Минимизация расхода топлива.
	Улучшение качества распыления топлив.
	Определение оптимальных условий проведения процесса.

5.5.2 Организационная структура проекта

Следующим шагом является определение того, кто будет входить в рабочую группу данного проекта, роли каждого участника в данном проекте, а также функций, выполняемых каждым из участников и их трудозатраты. Данная информация представлена в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Волков Р.С., ТПУ, доцент ИШФВП, к.т.н.	Руководитель проекта	Консультирование по выполнению ВКР	100
2	Якимова Т.Б., ТПУ, доцент ОСГН, к.э.н.	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	3
3	Сечин А.А., ТПУ, доцент ООД, к.т.н.	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению раздела «Социальная ответственность»	3
4	Гончарова Л.А., ТПУ, доцент ОИЯ, к.п.н.	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению английской части	3
5	Забелин И.В., ТПУ, магистрант	Исполнитель по проекту		1000
Итого				1109

5.5.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Эта информация представлена в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1. Бюджет проекта	1140648,64 рубля
2. Источник финансирования	НИ ТПУ
3. Сроки проекта	01.02.2023 – 31.05.2023
3.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	10.02.2023
3.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2023

5.6 Планирование научно-исследовательской работы

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

Формируется группа для выполнения работ, состоящая из научного руководителя проекта (НР) и инженера (И). Составим таблицу, содержащую перечень работ, основных исполнителей, продолжительность выполнения работ (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей при разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций

Содержание работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях
1. Составление технического задания проекта	НР, И	3
2. Календарное планирование работ	НР, И	3
3. Обзор научной литературы	И	6
4. Экспериментальные исследования	И	35
5. Анализ объекта автоматизации	И	5
6. Проектирование АСУ ТП	И	20
7. Разработка схем	И	15
8. Написание дополнительных разделов ВКР	И	15
9. Оформление итоговых материалов ВКР	И	5
10. Подготовка презентации	И	6
11. Согласование результатов	НР, И	4
Итого	НР	10
	И	117

Таким образом, согласно таблице 5.9 работа состоит из 11 основных этапов. Основная часть всех работ реализуется инженером. Решение совокупности всех работ позволит реализовать проект. По данным таблицы 5.10 построен календарный план-график проведения НИИ в виде диаграммы Ганта (таблица 5.10). На основании полученной диаграммы видно, что работы начинаются с 3 декады февраля и заканчиваются в начале второй декады июня.

Таблица 5.10 – Календарный план-график проведения НТИ

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

НР – ■; И – ■.

5.7 Бюджет научно-технического исследования

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

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

5.7.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

К материальным затратам научно-технического исследования относятся: канцелярские принадлежности, покупные материалы и т.п. (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Материальные затраты

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

Итоговые затраты согласно таблице 5.11 составили 3690 рублей. Цены на все товары взяты средние по г. Томску.

5.7.2 Амортизация

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

Затраты на амортизацию рассчитываются по формуле:

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

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

$$Z_{амор} = \frac{0,15 \cdot 92000 \cdot 654 \cdot 1}{2408} = 3748,7 \text{руб,}$$

Итоговая сумма амортизации составила 3748,7 рублей.

5.7.3 Заработная плата исполнителей

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

Затраты на заработную плату рассчитываются по формуле:

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

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

Основная заработная плата определяется по формуле:

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

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

Среднедневная заработная плата:

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

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

Далее в таблице 5.12 представлен баланс рабочего времени для шестидневной рабочей недели.

Таблица 5.12 – Баланс рабочего времени (для шестидневной рабочей недели)

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

Рассчитаем среднедневную заработную плату для инженера и научного руководителя, данные внесем в таблицу 5.13:

$$Z_{\text{дн.ин}} = \frac{16300 \cdot 10,4}{233} = 728 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн.нр}} = \frac{39300 \cdot 10,4}{233} = 1754 \text{ руб.}$$

Таблица 5.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$K_{\text{нр}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{р}}$	$T_{\text{р}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Инженер	728	0,3	0,4	1,3	106	170541
Научный руководитель	1754	0,3	0,4	1,3	10	38763
Итого						209304

Дополнительная заработная плата исполнителей определяется по формуле:

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

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

Результаты расчетов дополнительной заработной платы внесем в таблицу 5.14.

Таблица 5.14 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Научный руководитель	4652
Инженер	20465
Итого	25117

Таким образом, суммарная надбавка к основной заработной плате руководителя и инженера составила 25117 рублей.

5.7.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

Результаты расчетов отчислений во внебюджетные фонды внесем в таблицу 5.15.

Таблица 5.15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{внеб}$, руб.
Научный руководитель	13111
Инженер	57684
Итого	70795

Сумма отчислений во внебюджетные фонды составила 70795 рублей.

5.7.5 Накладные расходы

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

$$Z_{накл} = 0,2 \cdot (Z_{мат} + Z_{амор} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}); \quad (5.8)$$

$$Z_{накл} = 0,2 \cdot (3690 + 3748,7 + 209304 + 25117 + 70795) = 62530,94 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составили 62530,94 рубля.

5.7.6 Смета затрат на оборудование

Смета составляется как на приобретение технологического оборудования, так и на строительно-монтажные работы. В таблице 5.16 представлена смета затрат на оборудование.

Таблица 5.16 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом 4...20мА ТСМУ-205	6	10134	60804
Преобразователь температуры с унифицированным выходным сигналом 4...20мА Метран-288-05-250/І-Н45	1	15710	15710
Датчик избыточного давления МИДА-ДИ-13П-ОМ20	6	5064	30384
Диафрагма камерная фланцевая ДФК Элемер	4	2805	11220
Преобразователь дифференциального давления ОРТІВАR DP	4	44352	177408
Уровнемер радиоволновой NivoRadar 3000	1	59900	59900
ПЛК ЭЛСИ-ТМК с набором всех необходимых модулей	1	130500	130500
Контактор электромагнитный КМЭп 25А 24В DC	4	4738	18952
Пускатель реверсивный ПБР-3И	4	10500	42000
Исполнительный механизм МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б)	4	22752	91008
Итого			637886

Стоимость оборудования составила $Z_{об} = 637886$ рублей.

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

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

$$Z_{монт} = 0,2 \cdot 637886 = 127577 \text{ рубля.}$$

Затраты на покупку оборудования и его монтаж составят:

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

$$Z_{м.об.} = 637886 + 127577 = 765463 \text{ рубля.}$$

Таким образом, суммарные затраты на покупку и монтаж оборудования составили 765463 рубля.

5.7.7 Формирование затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком зачитывается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Данные бюджета затрат приведены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Бюджет затрат

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты НТИ	3690	0,32
Затраты на амортизацию	3748,7	0,33
Затраты на основную заработную плату	209304	18,35
Затраты на дополнительную заработную плату	25117	2,20
Страховые взносы	70795	6,21
Накладные расходы	62530,94	5,48
Затраты на оборудование	765463	67,11
Общий бюджет	1140648,64	100

Анализируя таблицу 5.17, можно сделать вывод, что наибольший процент затрат приходится на закупку и монтаж оборудования и составляет 67,11 %. Бюджет всех затрат составил 1140648,64 рублей.

5.8 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научной работы определяется с использованием интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

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

Результаты расчетов интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик проекта

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

5.9 Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

Анализ затрат на разработку позволяет сделать вывод, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе являются затраты на оборудование, составившие 765463 рубля, далее затраты на заработную плату – 234421 рублей. Меньше всего средств уходит на материальные затраты НИИ – 3690 рублей. Общий бюджет разработки составил 1140648,64 рублей, при этом, продолжительность работы составляет 106 дней. Интегральный критерий ресурсоэффективности имеет высокий показатель (4,2 из 5), что говорит об эффективности проекта.

Внедрение автоматизированной системы вторичного измельчения распыленных водоугольных и органомодоугольных топливных композиций позволит увеличить срок службы системы, повысить ее безопасность, надежность. Также за счет оптимизации процессов распыления топлива понизятся производственные издержки.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Забелину Илье Валерьевичу

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

Тема ВКР:

АСУ ТП вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации. 	<p>Объектом исследования является процесс создания автоматизированной системы управления технологическим процессом вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций.</p> <p>Областью применения являются теплоэнергетические предприятия, а также стенды по изучению процессов распыления топливных суспензий.</p> <p>Рабочая зона располагается в производственном помещении.</p> <p>Размеры помещения (ДхШхВ): 6000х3100х2500 мм.</p> <p>Оборудование рабочей зоны представлено персональным компьютером, многофункциональным устройством, монитором технологического процесса.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Отражены правовые нормы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – "ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения"; – Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" (с изменениями на 2 июля 2013 года); – ТК РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ; – Конституция РФ.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов. 	<p>Вредные факторы:</p> <p>недостаточная освещенность рабочей зоны (произведен расчет вредного производственного фактора), отклонение параметров микроклимата,</p>

– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора.	повышенный уровень шума, повышенный уровень вибрации, повышенная температура поверхностей оборудования. Опасные факторы: поражение электрическим током, получение травмы подвижными элементами оборудования.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	Воздействие на атмосферу: антропогенные выбросы при горении топлива. Воздействие на гидросферу: загрязнение природных источников воды при ее использовании. Воздействие на литосферу: выбросы твердых продуктов сгорания.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	Возможные ЧС: возникновение возгорания, возможность разрушения котельного агрегата, разрыв магистралей топливоподачи. Наиболее типичная ЧС – возникновение возгорания.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Забелин Илья Валерьевич		

6 Социальная ответственность

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

6.1 Введение

Выпускная квалификационная работа направлена на изучение влияния конструкции форсунки, а именно, добавления в нее дополнительного коаксиального канала вторичного распылителя, влияющего на характеристики распыла суспензионных топлив, а также, процессов, протекающих при транспортировке таких топлив по трубопроводам, способов регулирования расхода и разработки, соответствующей автоматизированной системы управления.

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

Основная задача работы – разработка системы автоматизированного управления технологическим процессом вторичного измельчения распыленных водоугольных и органомоугольных топливных композиций. В данном разделе, будут отмечены все основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе разработки данного проекта.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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

Основой правового законодательства является Конституция, т. е., законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей. Существуют принятые нормы в области охраны труда: на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат производственной деятельности предприятия; единые нормативные требования по охране труда; защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве. Действующим нормативом по охране труда является Система стандартов безопасности труда (ССБТ) – ГОСТ 12.0.004-2015 [53].

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

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

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

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

Профессиональный риск – это вероятность причинения вреда здоровью работника, связанная с влиянием вредных или опасных производственных факторов во время исполнения трудовых обязанностей по контракту или иных обстоятельств, установленных Трудовым Кодексом и/или другими законами. Кроме этого, необходимость управления профессиональными рисками установлена статьей 209 ТК, которой определено, что порядок оценки уровня

профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда. (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ).

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

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

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

6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

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

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

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

Помимо прочего необходимо учитывать следующее:

- 1) проход справа, спереди и слева от стола должен составлять не менее 500 мм;
- 2) расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров знаков и символов;
- 3) окраска дизайна ПК должна быть выполнена в спокойных тонах;
- 4) корпус ПК, клавиатура, устройства и другие блоки рабочего места должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики;
- 5) конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;
- 6) все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

6.3 Производственная безопасность

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

К работе допускаются лица, обученные правилам техники безопасности и изучившие руководство по эксплуатации.

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

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.03.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разрабо тка	Эксплу тация	
1. Отклонение показаний микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [54]
2. Превышение уровня шума		+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [55]
3. Повышенный уровень вибрации		+	ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности [58]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [57]
5. Недостаточная освещенность рабочего места.	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [56]
6. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов		+	ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий [59]
7. Движущиеся части машин и механизмов		+	ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация [60]

6.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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

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

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

Отклонение параметров микроклимата

Находясь на рабочем месте в производственном помещении операторной, инженер подвержен влиянию определённых метеоусловий, или микроклимату рабочих помещений. Окружающая среда влияет на состояние организма. Основными параметрами производственного микроклимата являются действующие на организм человека температура окружающей среды, влажность и скорость потока воздуха, а также температура окружающих поверхностей [54].

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

- перепад температуры воздуха должен быть не более 3...3,5 °С;

– перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 3,5...4 °С.

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

Таблица 6.2 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

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

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

Повышенный уровень шума

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

Электрические машины создают шумы с различными уровнями звука от 20 дБ (микромашин) до 110 дБ (крупные быстроходные машины) [55].

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

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

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

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

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

Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

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

Освещение должно быть таким, чтобы работающие могли без напряжения зрения выполнять свою работу. Неудовлетворительное освещение может искажать информацию: кроме того, оно не только утомляет зрение, но вызывает также утомление всего организма в целом. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы. Рабочее освещение включает в себя общее стационарное, ремонтное и местное освещение. Охранное освещение предусматривается по периметру. Ремонтное освещение необходимо выполнять от понижающего трансформатора 12-42 В [56].

Поражение электрическим током

В помещении с большим количеством аппаратуры, использующей, как однофазный электрический ток, промышленной частоты напряжением 220 В,

так и трехфазный с частотой 380 В, есть вероятность поражения током. Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения током практически минимальна, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое закорачивание частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями [57].

Повышенный уровень вибрации

Для уменьшения воздействия вибраций на организм человека необходимо также проводить ряд мероприятий. В проектируемой системе распыления имеются следующие источники вибраций: промышленные насосы, компрессоры, исполнительные механизмы задвижек, установленные в помещении с временным пребыванием персонала.

Интенсивность вибраций деталей агрегатов (корпуса агрегатов, кожухов, крышек и т. п.) согласно ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ, следует уменьшать путем:

- облицовки этих поверхностей или заполнения специально предусмотренных в них воздушных полостей демпфирующими вибрацию материалами;
- устройства гибких связей (упругих прокладок, пружин) между этими деталями и узлами агрегата, вызывающих вибрации;
- замены металлических деталей деталями из пластмасс или других незвучных материалов;
- установления минимальных допусков при изготовлении и сборке деталей агрегата для уменьшения зазоров в сочленениях деталей и тем самым уменьшения энергии соударений;
- широкого внедрения смазки соударяющихся деталей вязкими жидкостями и помещения в жидкостные масляные и другие ванны вибрирующих и издающих шум деталей (шестеренчатых редукторов и т. п.);

- заключения в изолирующие кожухи шумных узлов агрегата (шестеренчатых редукторов, цепных, ременных и других передач, соударяющихся деталей и двигателей).

При проведении мероприятий по уменьшению вибраций агрегатов (насосов, компрессоров и задвижек), с учетом того, что место постоянного пребывания персонала отделено от вышеупомянутых агрегатов, воздействие вибраций на персонал будет сведено к минимуму [58].

Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов

Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам. Согласно ГОСТ Р 30331.4-95, мерами предосторожности являются [59]:

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

Движущиеся части машин и механизмов

Существует опасность получения травмы подвижными элементами оборудования, например, фланцы исполнительных механизмов. Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются [60]:

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

6.3.3 Расчет вредного производственного фактора

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

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

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

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

Расстояние между светильниками составит:

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

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

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L / 3 = 0,62 \text{ м.}$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

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

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

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

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

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

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

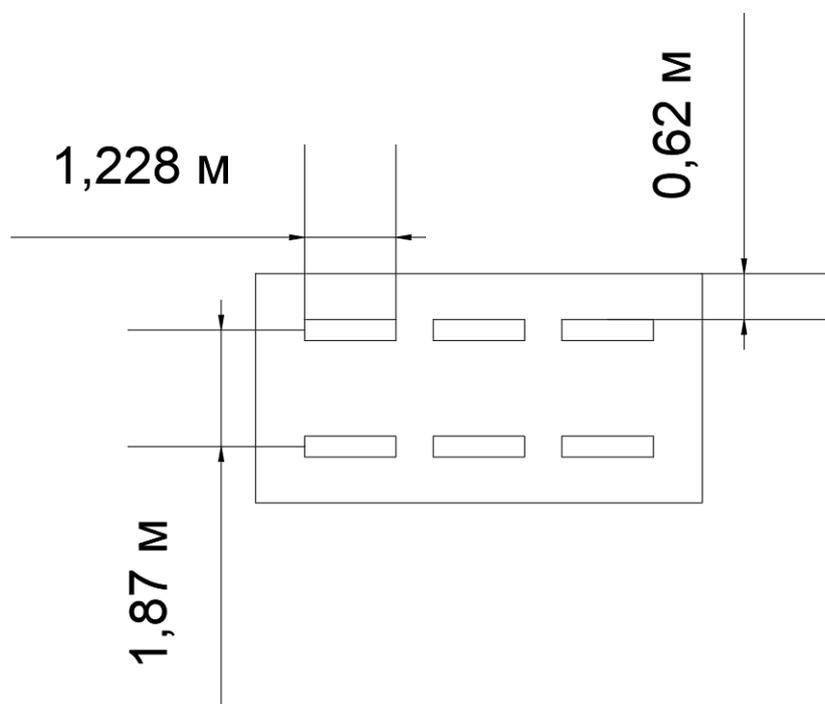


Рисунок 6.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Определим индекс помещения:

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

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

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

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

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

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

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

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

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

Выполним проверку:

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

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

Условие проверки соблюдается.

Определим номинальную электрическую мощность осветительной установки:

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

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

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

Для предотвращения возможности поражения электрическим током должны соблюдаться следующие требования:

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

6.4 Экологическая безопасность

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

6.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

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

6.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

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

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

6.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения количества выбросов необходимо контролировать расход воздуха в камеру сгорания. Ведь при нехватке окислителя, возникает большой недожог, что приводит к увеличению количества золовидных

отходов процесса сжигания топлива. А при избытке воздуха образуются оксиды азота.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

6.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

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

При эксплуатации необходимо контролировать состояние баков путем измерения параметров топлива (температуры, давления), а также, осуществление внешнего осмотра. Признаками самовозгорания являются повышение температуры и превышение требуемого давления.

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

6.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

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

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

Во избежание вышеперечисленных ЧС, в соответствии со СНиП 21-01-97* необходимо осуществить следующие мероприятия [61]:

- произвести качественный монтаж технических средств автоматизации, выполнить подбор кабелей нужного сечения имеющих плотную изоляцию, заземление оборудования;
- обеспечить безопасность людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения;
- допускать персонал к работе только после инструктажа, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж;
- установить инструкцией места для курения, хранения сырья, полуфабрикатов или готовой продукции и их предельно допустимое

количество, порядок уборки горючих отходов и пыли, обесточивания электрооборудования, хранения промасленной спецодежды;

– при изнашивании какого-либо электрического элемента системы произвести его замену или демонтаж.

6.6 Выводы по разделу

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

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

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

– выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве при функционировании разрабатываемой системы;

– произведен расчет вредного производственного фактора;

– указаны методики и средства борьбы с этими факторами;

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

Заключение

В рамках написания магистерской диссертации были получены экспериментальные и теоретические информационные данные о характеристиках распыла ВУТ и ОВУТ разработанным форсуночным устройством. Для разработанного в рамках экспериментальных исследований форсуночного устройства получено положительное решение на выдачу патента РФ на изобретение. С помощью этих данных разработана эффективная автоматизированная система управления технологическим процессом в условиях вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций.

Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень представлен различными датчиками измерения температуры, давления, расхода, уровня, а также запорно-регулирующей арматурой и исполнительными механизмами. Средний уровень системы управления выполнен на базе программируемого логического контроллера фирмы «Элеси». На верхнем уровне реализован АРМ оператора в виде SCADA-системы.

В ходе выполнения магистерской диссертации был разработан комплект схемотехнической и конструкторской документации: схема структурная, схема функциональная, схема электрическая соединений, схема монтажная и сборочный чертеж шкафа управления.

В пояснительной записке к магистерской диссертации содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки схемной и конструкторской документации и мнемосхемы. Кроме того, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Список использованных источников

1. Андык В.С. Автоматизация технологических процессов на ТЭС. Учебное пособие к практическим занятиям. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 84 с.
2. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. – М.: Энергия, 1985. – 340 с.
3. G.V. Kuznetsov, N.E. Shlegel, Ya Solomatin, P.A. Strizhak, Combined techniques of secondary atomization of multi-component droplets, Chem. Eng. Science 209 (2019) 115199.
4. S.G. Daviault, O.B. Ramadan, E.A. Matida, P.M. Hughes, R. Hughes. Atomization performance of petroleum coke and coal water slurries from a twin fluid atomizer, Fuel 98 (2012) 183-193.
5. X. Ma, Y. Duan, M. Liu, Atomization of petroleum-coke sludge slurry using effervescent atomizer, Exp. Therm. Fluid Science 2013, 46, 131-138.
6. Воробьев Б.М. Вестник Российской академии наук. – 2011. – С. 65.
7. Ходаков Г.С. Водугольные суспензии в энергетике // Теплоэнергетика. – 2007. – №1. – С.36.
8. Ji J., Chen G., Zhao J., Wei Y. // Fuel. – 2020. – №282. – 118715.
9. Злобина Э.С., Папин А.В., Игнатова А.Ю. // IV Международная научно-практическая конференция. – 2015. – С. 213.
10. Архипкин О., Морозов А. Современные подходы к использованию водугольного топлива в энергетике // Промышленность Казахстана. – 2011. – №3 (66). – С. 88-91.
11. Зенков А.В., Янковский С.А., Матвеева А.А., Лавриненко С.В., Громов А.А. Research of heat rates effect on the process of fuel-bed gasification of «Balakhtinskoe», «Osinnikovskoe», «Krasnogorskoe» and «Borodinskoe» Coal Deposits / MATEC Web Conferences, 2016.
12. Галашов Н., Цибульский С., Матвеев А., Масюк В. // EPJ Web of Conferences. – 2016. – №110. – 01019.

13. Сенчурава Ю.А. Результаты исследований распыления водоугольного топлива пневмомеханическими форсунками/ Ю.А. Сенчурава., В.И. Мурко, В.И. Федяев, Д.А. Дзюба, Е.М. Пузырев // Известия Томского Политехнического Университета, 2008. - №4. – С. 37.

14. Баранова М.П. Влияние пластифицирующих добавок на реологические характеристики водоугольных суспензий из углей разной степени метаморфизма / М.П. Баранова // Труды КГТУ. – 2006. – №2. – С. 143-147.

15. Lu, P.; Zhang, M. Experimental investigation on atomizing characteristics of coal–water paste for pressurized fluidized bed. Fuel 2004, 83, 2109–2114.

16. Yuan, K.; Chen, L.; Wu, C. Study on characteristics of different types of nozzles for coal-water slurry atomization. J. Therm. Science 2001, 10, 331–335.

17. Yu, H.; Zhang, C.; Liu, J.; Cen, K. Experimental Study of the Atomizing Performance of a New Type of Nozzle for Coal Water Slurry. Energy Fuels 2008, 22, 1170–1173.

18. Ma, X.; Duan, Y.; Liu, M. Atomization of petroleum-coke sludge slurry using effervescent atomizer. Exp. Therm. Fluid Science 2013, 46, 131–138.

19. Alekseenko, S.V.; Anufriev, I.S.; Dekterev, A.A.; Kuznetsov, V.A.; Maltsev, L.I.; Minakov, A.V.; Chernetskiy, M.Y.; Shadrin, E.Y.; Sharypov, O.V. Experimental and numerical investigation of aerodynamics of a pneumatic nozzle for suspension fuel. Int. J. Heat Fluid Flow 2019, 77, 288–298.

20. Zhao, H.; Liu, H.F.; Xu, J.L.; Li, W.F.; Cheng, W. Breakup and atomization of a round coal water slurry jet by an annular air jet. Chem. Eng. Science 2012, 78, 63–74.

21. Ю. Воронов, В. Казаков, М. Толстой. Струйная аэрация. – 2007, 80-100.

22. Попов В.Г., Ярославцев Н.Л. Жидкостные ракетные двигатели. М.: Издательско-типографический центр- «МАТИ» - КТУ им. К.Э. Циолковского, 2001.

23. V. A. Arkhipov, A. P. Berezikov, A. S. Zhukov. Laser diagnostics of the centrifugal nozzle spray cone structure. *Journal of Physics* 2009, 52, 120-124.
24. Пажи Д. Г., Галустов В.С., Основы техники распыливания жидкостей, М., 1984. Д. Г. Пажи.
25. Кулагин Л.В., Морозкин М.Я. Форсунки для распыления тяжелых топлив. – 1973.
26. Сенчурова У.А., Заречнева Е.В. Математическое моделирование процесса распыления и сжигания водоугольного топлива в вихревой топке. – 2012.
27. Сметанников, Б.Н. Исследование воспламенения и горения капли водоугольной суспензии / Б.Н. Сметанников, Г.Н. Делягин // Горение твердого топлива. — Наука. 1969. — 556 с.
28. R. Ben Slama, B. Gilles, M. Ben Chiekh, J-C. Vera. *Ultrasonics*. – 2017. - №76. – p. 217.
29. O.V. Sharyov, I.S. Anufriev, E.Yu. Shadrin, E.P. Kopyev, V.V. Leschevich. The study of disperse composition of the gas-droplet flow when spraying diesel fuel by a steam jet, *J. Phys.: Conf. Series*. 1261 (2019) 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1261/1/012032>, свободный. – Загл. с экрана.
30. Daviault S.G., Ramadan O.B., Matida E.A., Hughes P.M., Hughes R. Atomization of the Twin Fluid Atomizer. // *Fuel*. – 2012. – №98. – p. 183.
31. Заявка на изобретение № 2022131291 от 1 декабря 2022 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPATAP&DocNumber=2022131291&TypeFile=html, свободный. – Загл. с экрана.
32. G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, T.R. Valiullin, R.S. Volkov, Atomization behavior of composite liquid fuels based on typical coal processing wastes, *Fuel Process. Technol.* 225 (2022) 107037.
33. ГОСТ 21.403–80 Система проектной документации для строительства. Обозначения условные графические в схемах. Оборудование

энергетическое. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901706028>, свободный. – Загл. с экрана.

34. ГОСТ 21.208-2013 Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200108003>, свободный. – Загл. с экрана.

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

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

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

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

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

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

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

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

43. ООО «Энергосервер» Каталог продукции. Датчики переменного перепада давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energoservert.ru/catalog/rashod-po-perepadu/optibar-dp-7060-sizmeritelnoy-diafragmoy.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
44. ООО «Тепломер-Сервис» Расходомеры Питерфлоу. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teplomer.ru/device/elektromagnitnye-rashodomery-piterflou-rs#f>, свободный. – Загл. с экрана.
45. ГК «Теплоприбор» Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlpcccjdm.xn--plai/catalog/mehanizm-ispolnitelnyj-meo-250-63-25-160-meof/>, свободный. – Загл. с экрана.
46. Проектирование электрических и трубных проводок. Трубные проводки. РМ4-6-92 ч. 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293851/4293851760.htm>, свободный – Загл. с экрана.
47. ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации. Форматы. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2007.
48. Принципиальные электрические схемы средств автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/10_114033_printsipialnie-elektricheskie-shemi-sredstv-avtomatizatsii.html, свободный. – Загл. с экрана.
49. ИЕК GROUP Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iek.ru/products/catalog/>, свободный. – Загл. с экрана.
50. Андык В.С. Теория автоматического управления. Учебное пособие к практическим занятиям: – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 108с.
51. Методы расчета систем автоматического регулирования/Под ред. Волгина В.В. - 2-е изд.- М.: Изд. МЭИ, 1972. – 226 с.
52. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Игольско-талового месторождения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/23031>, свободный. – Загл. с экрана.

53. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – Взамен ГОСТ 12.0.004-90; введ. 2017-03-01. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 60 с.

54. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». – М.: Стандартинформ, 2002. – 20 с.

55. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный. – Загл. с экрана.

56. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

57. ГОСТ Р 58698-2019. Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200170001>, свободный. – Загл. с экрана.

58. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200059881>, свободный. – Загл. с экрана.

59. ГОСТ Р 30331.4-95. Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001338>, свободный. – Загл. с экрана.

60. ГОСТ Р 56257-2014. Характеристика факторов внешнего природного воздействия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118630>, свободный. – Загл. с экрана.

61. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854592.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

Приложение А

(справочное)

The influence of the nozzle design with a use of addition coaxial secondary atomizer channel on the atomization characteristics of suspension fuels

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Забелин Илья Валерьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	к.т.н., доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Гончарова Любовь Анатольевна	к.п.н., доцент		

A.1 Short literature review

One of the promising solutions in power engineering is the development and implementation of water-coal fuel technology [1]. Water-coal fuel is composite liquid fuel: a mixture of pulverized coal and water with or without surface-active agent. It is able to replace gas and oil at boiler-houses and thermal power plants [2].

Technology of water-coal fuel is not only a method of coal transportation by pipelines, but also a way of utilization of coal sludge. These slimes are currently processed as waste, but they can be used to prepare suspension fuel and used at power facilities. Cleaning land that is disturbed today by these wastes will reduce technogenic impact on environment and amount of dust in air [3].

The main advantages of water-coal fuel (compared to coal) are: high degree of combustion - up to 99%; possibility of using high-quality and low-grade coal; significant improvement of nitrogen oxides, carbon monoxide and fly ash emissions; utilization of waste coal preparation plants (coal slag); fire and explosion safety; convenience of transportation (by pipeline, in tanks) and storage (not dusty).

However, the technology of water-coal fuel has a number of unresolved problems, affecting its application in the energy sector. First of all, it concerns operation of nozzles [4], which is affected by initial fuel properties and compositions. Since increasing proportion of coal in the water-coal fuel leads to a significant increase in viscosity. This causes a decrease in combustion completeness [5]. Thus, the nozzle design is a necessarily very important point that has a great impact on quality of atomization and combustion of fuel. Analyzing classification and characteristics of nozzles, we can conclude that coaxial and mixing nozzles are most promising for consideration as modernization of the nozzle device.

The conducted review showed that application of water-coal fuel in power engineering is a promising direction. However, there remain a number of unresolved issues related to production, storage and milling of water-coal fuel. Therefore, one of the most urgent tasks in this area is development of more efficient atomizers, as

well as evaluation and selection method of obtaining water-coal fuel due to heterogeneity of coal characteristics even within the same grade.

A.2 Description of the experimental complex

Figure 1 shows appearance of the experimental stand, which was used in research. Suspension fuel in the volume of 50 ml, which was squeezed by means of rod 1 (150 ml syringe with a piston diameter of 30 mm) creating overpressure in range of 60-140 kPa, was atomized by means of nozzle 2. Air was fed through the supply channels 4 and 5 was (with a mass flow rate in the range 35-70 kg / h) to spray nozzle 2 air compressors 3 "PATRIOT EURO 24/240" (type - piston oil; working pressure - 0.1-0.8 MPa; receiver volume - 24 l; maximum capacity - 240 l/min). The chamber for spraying suspension 6 was a hollow parallelepiped with the dimensions 1×0.5×0.6 m, the side edges of which were made of glass and transparent polycarbonate with thickness of 3 mm.

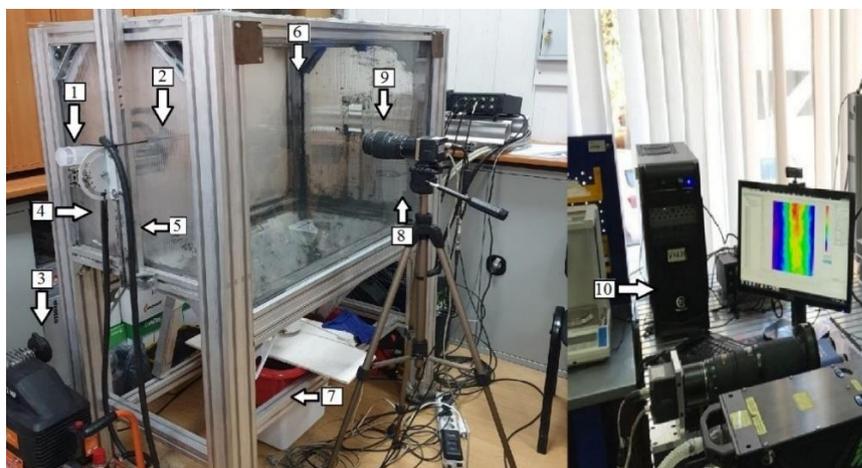


Figure 1 - Exterior view of the experimental setup: 1 - rod for squeezing the suspension; 2 - nozzle; 3 - air compressor; 4 - primary air channel; 5 - secondary air channel; 6 - chamber for spraying the suspension; 7 - tank for collecting fuel; 8 - high-speed video camera; 9 - objective lens; 10 - personal computer

Video recording and digital visualization system was used to record characteristics of composite liquid fuel atomization, which included: three projectors "Multiled PT-V9 GS Vitec" (number of LEDs - 24; luminous flux - 7700 Lm; power - 84 W, dispersion angle - 30°), mounted on the back of the stand; high-speed video cameras "Photron FASTCAM Mini UX100 M3" (image type - monochrome; maximum resolution - 1280×1024 pix; maximum shooting speed - 8-105 fps; 4 μs minimum exposure time; 12 bit maximum image resolution) and "Phantom MIRO M310" (monochrome; 1280×1024 pix maximum resolution; 6-105 fps maximum capture rate; 1 μs minimum exposure time; 12 bit maximum image resolution); a set of lenses: "SIGMA 50 mm 1:2.8D MACRO EX" (focal length 50 mm, relative aperture 2.8); "Carl Zeiss Distagon 1.4/35 mm ZF.2" (focal length 35 mm, relative aperture 1.4); "Nikon Micro-Nikkor 200mm f/4D ED-IF A" (focal length 200 mm, relative aperture 4).

Figure 2 shows appearance of the nozzle device for spraying suspension fuel.

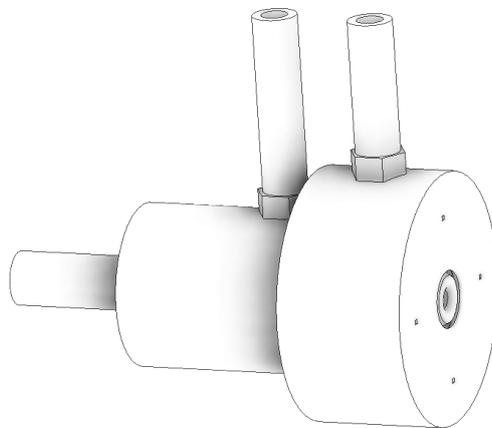


Figure 2 - Appearance of the nozzle device [30]

Figure 3 shows a longitudinal section of the nozzle for spraying viscous liquids A-A, side view and cross-section B-B. Figure 4 shows scheme of viscous liquid spraying.

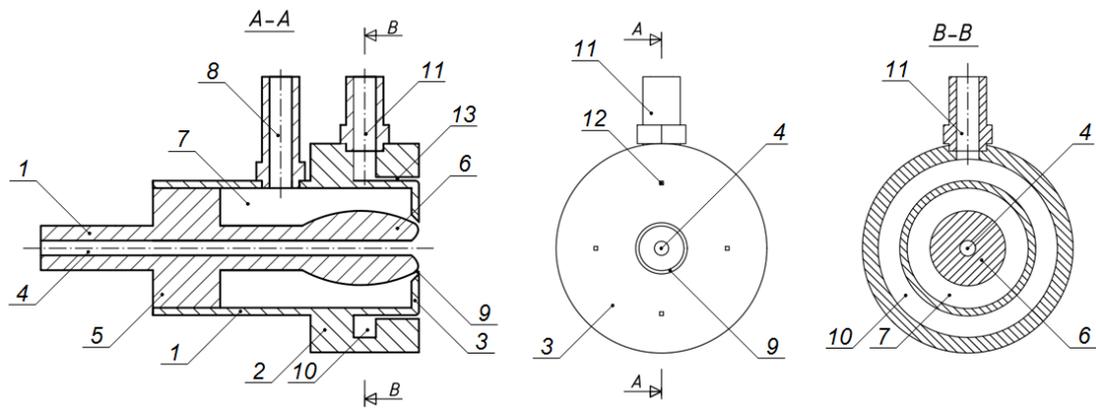


Figure 3 - Longitudinal section of the nozzle A-A, side view and cross section B-B: 1 - body, 2 - protruding part of the body, 3 - body cap, 4 - fuel channel, 5 - elongated cylindrical element in the body, 6 - elongated ellipsoid of rotation, 7 - annular coaxial channel of the primary atomizer, 8 - fitting of the primary atomizer, 9 - orifice of the primary atomizer, 10 - inner annular coaxial channel of the secondary atomizer, 11 - fitting of the secondary atomizer, 12 - orifices of the secondary atomizer, 13 - outer annular coaxial channel of the secondary atomizer

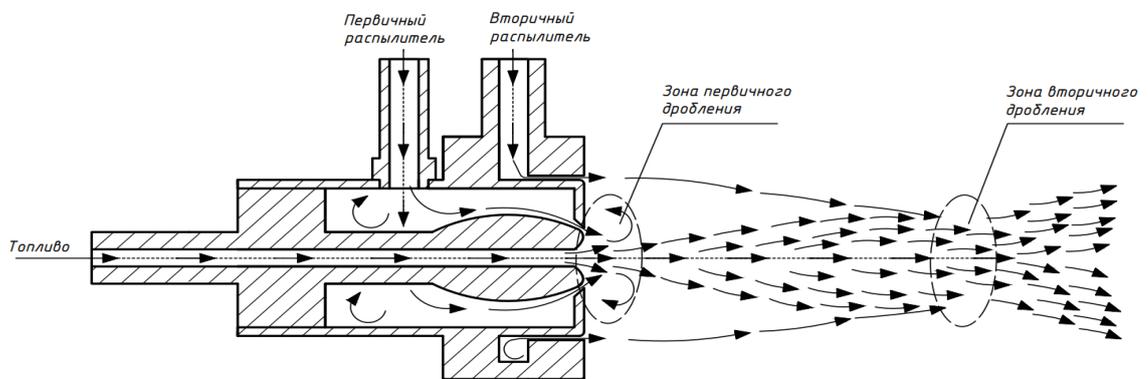


Figure 4 - Scheme of viscous liquid atomization

For numerical evaluation of spraying characteristics (volume fraction of fine droplets, droplet velocity, jet opening angle, jet deflection angle from the initial trajectory) a series of experiments was carried out. Experiments were performed for cases when a secondary atomizer was not used, as well as when it was used. We used 8 compositions of fuels as a liquid for spraying. Table 1 shows component compositions of fuels, as well as their viscosity and density values.

Table 1 – Investigated liquid compositions

No	Composition	μ_f (mPa·s)	ρ_f (kg/m ³)
1	Water without impurities	72	1000
2	50% filter-cake, 50% water	324.1	1252
3	45% filter-cake, 50% water, 5% sawdust	1371	1208
4	50% filter-cake, 45% water, 5% rapeseed oil	735.4	1230
5	50% filter-cake, 49% water, 1% soy lecithin	431	1103
6	50% filter-cake, 49% water, 1% sodium lignosulfonate	337.4	1190
7	50% filter-cake, 49% water, 1% diesel fuel	640.8	1216
8	20% filter-cake, 80% water	52.3	1087

Viscous fuel with mass flow rate of 140 kg/h was fed through the central fuel channel 4. The primary atomizer (air) was fed from nozzle 8 of the primary atomizer with mass flow rate of 35-70 kg/h. At the same time, the secondary atomizer (air) was fed from fitting 11 of the secondary atomizer with mass flow rate of 20-50 kg/h. The atomizer flow, which flowed from the orifice 9, created atomizer discharge. This led to the primary crushing of the fuel jet into droplets, which exited from the fuel channel 4. As a result of primary crushing, the droplet stream at a distance of about 80-100 mm from the nozzle cover 3 was subjected to secondary crushing due to interaction with the jets of the secondary atomizer, coming out of the holes 12. As a result of such interaction large droplets (more than 100 microns) were crushed into smaller ones, and velocity of the droplets increased. Additionally, due to impact on the atomized fuel flow by a group of secondary atomizer jets coming out of the holes 12, the jet deviation angle from the initial trajectory was reduced - the flow was stabilized and the jet opening angle was reduced as well. Together with the fuel supply, video recording of the fuel atomization process was started. The area around the droplets was illuminated with LED spotlight installed in front of the video camera. The obtained video images were transferred to personal computer, where they were processed to determine the characteristics of the atomization. The

following software was used for processing: "Phantom Camera Control" and "ActualFlow". Data processing was carried out by analogy with that described in the article [6]. The processing included following stages presented in Figures 5 and 6.

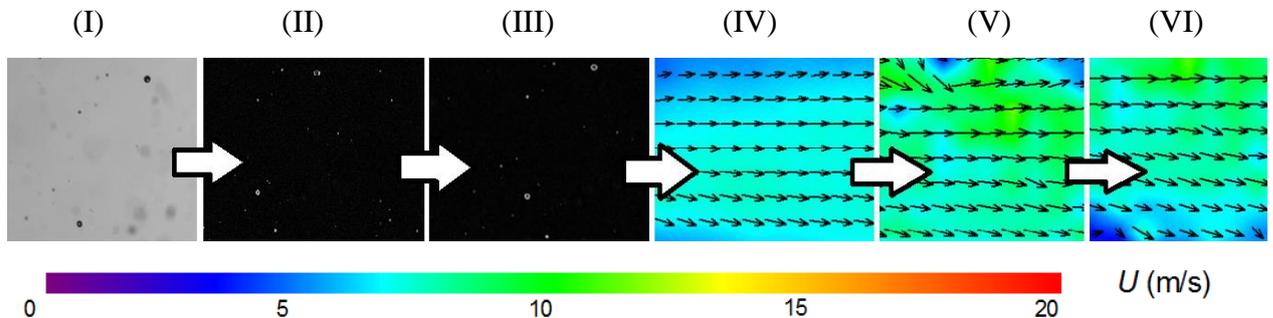


Figure 5 - Illustration of data processing when plotting velocity fields of drops by PIV method: (I) - original image; (II) - inverted image; (III) - image after background threshold intensity subtraction; (IV) - instantaneous velocity field; (V) - instantaneous velocity field after interpolation procedure; (VI) - averaged (based on frame series) velocity field

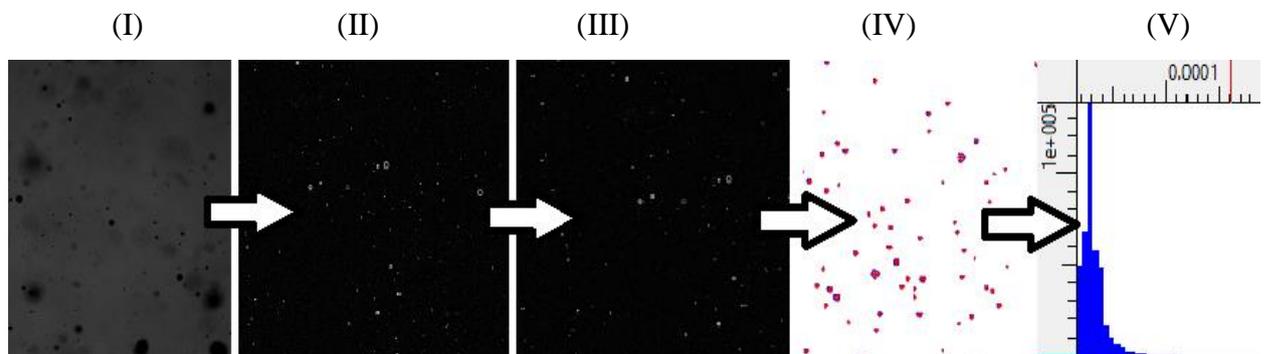


Figure 6 - Illustration of data processing when determining droplet sizes by SP method: (I) - initial image; (II) - detection of droplet boundaries by applying "Laplace Edge Detection" filter; (III) - removal of noise from the image by applying "Lowpass" filter; (IV) - determination of average drop radii using "Bubbles Identification" procedure; (V) - construction of final histogram of drop size distribution

A.3 Research results

According to the results of carried out researches there was found significant change of atomized jet structure when using the channel for secondary air supply. Fig. 7 shows video diagrams of atomized jet flow without and with use of secondary atomizer.

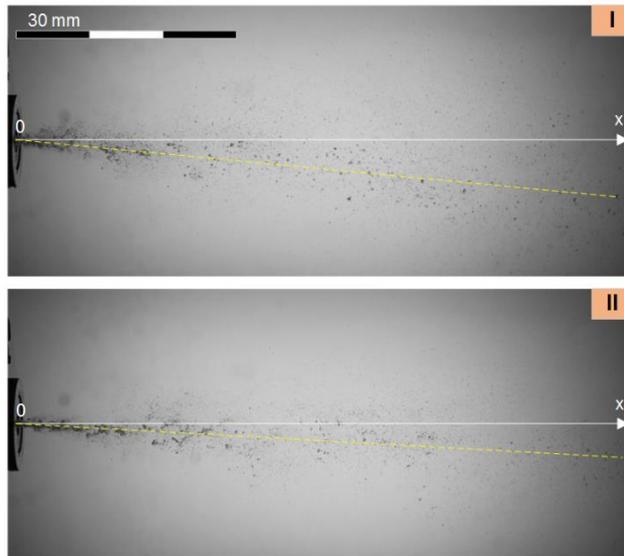


Figure 7 - Videograms of the flow sprayed jet: I - without the use of secondary atomizer; II - using a secondary atomizer

It has been found that the use of channel for secondary air supply is able to reduce the angle deviation jet from original trajectory by almost 2 times, from 7-8° to 3-4°. The obtained result is achieved due to the fact that the generated atomized jet is picked up by air jets emanating from the holes located on the periphery of the nozzle, which leads to balancing the gravitational forces acting on individual droplets. In addition, the air jets emanating from the holes located on the periphery of the nozzle contribute to secondary crushing of droplets.

Fig. 8 shows video diagrams of sprayed jet drops recorded in three different registration areas, obtained without and with the use of secondary atomizer.

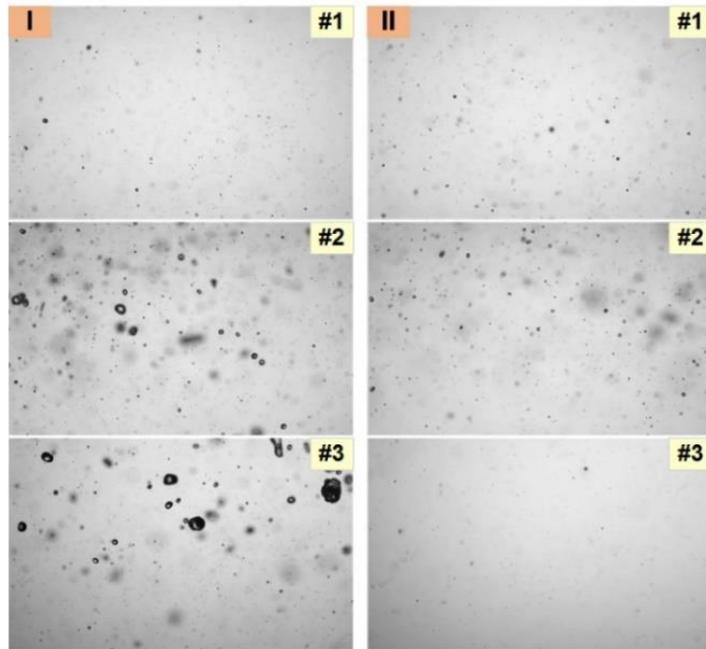


Figure 8 - Videograms of spray jet droplets recorded in three different registration areas: I - without using a secondary atomizer; II - with the use of a secondary atomizer

It is established (Fig. 8) that nozzle operation with application of secondary atomizer (videogram II in Fig. 8) contributes to secondary crushing of droplets, reduction of their mass, alignment of flow direction and monodispersion. From the burning droplets fuels in combustion chambers point of view: uniform distribution of droplet sizes in the jet can contribute to their uniform heating and subsequent ignition and combustion.

Fig. 9 shows example of distribution volume fraction droplets in the sprayed stream obtained without using, as well as with the use of secondary atomizer.

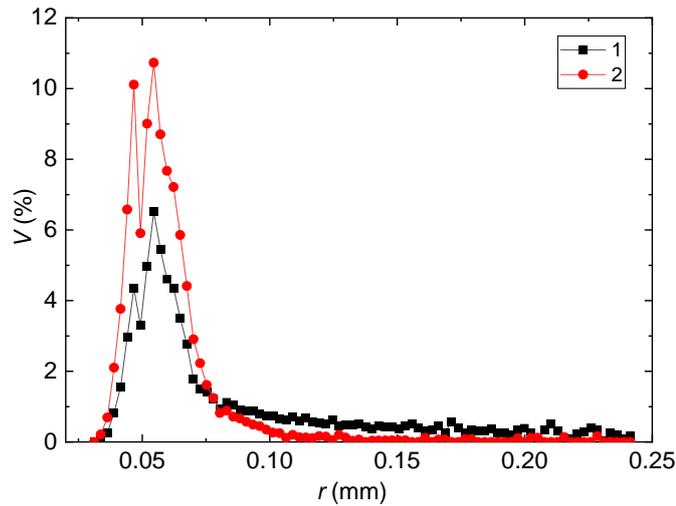


Figure 9 - Example of distribution volume concentration droplets in the sprayed stream: 1 - without using secondary atomizer; 2 - with the use of secondary atomizer

It is established (Fig. 9) that the volume concentration of small (with radii less than 70-100 μm) droplets when using secondary atomizer increases by more than 2 times compared with the case when it is not used. At the same time the volume concentration of droplets with radii greater than 70-100 μm decreases proportionally (Fig. 9).

Fig. 10 shows typical videograms of air flows, as well as their corresponding two-component two-dimensional flow rate fields of separately primary air (I), separately secondary air (II) and together (III).

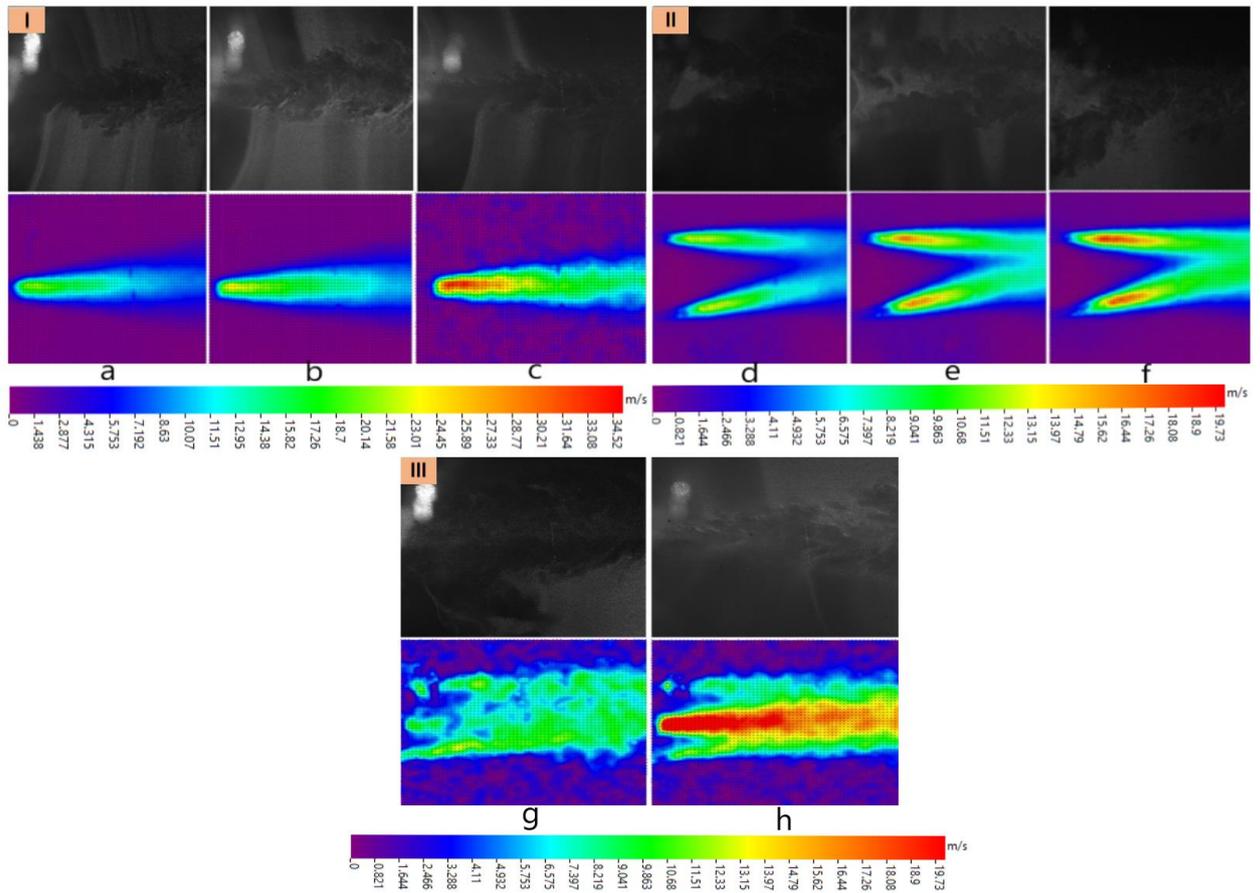


Figure 10 - Typical videograms of air flows (top), as well as their corresponding two-component two-dimensional velocity fields (bottom) of the air flow generated by the primary atomizer (I), the secondary atomizer (II) and together (III) at the following parameters: a - pressure 4 bar, $\varphi \approx 1.57$ rad; b - pressure 6 bar, $\varphi \approx 1.57$ rad; c - pressure 8 bar, $\varphi \approx 1.57$ rad; d - pressure 4 bar; e - pressure 6 bar; f - pressure 8 bar; g - primary air pressure 4 bar, secondary air pressure 8 bar, $\varphi \approx 9.42$ rad; h - primary and secondary air pressure 8 bar, $\varphi \approx 3.14$ rad

To determine the velocities of air flows, horizontal (a) and vertical (b) sections were built, the location of which is shown in Fig. 11. Figure 12 shows the air flow velocity profiles obtained in these sections.

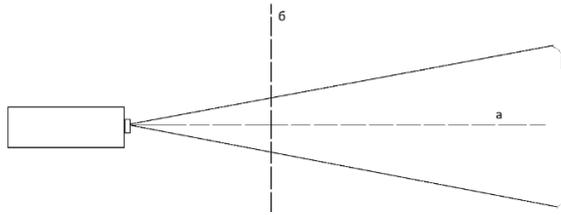


Figure 11 - Cross sections of air flows: a - horizontal; b - vertical

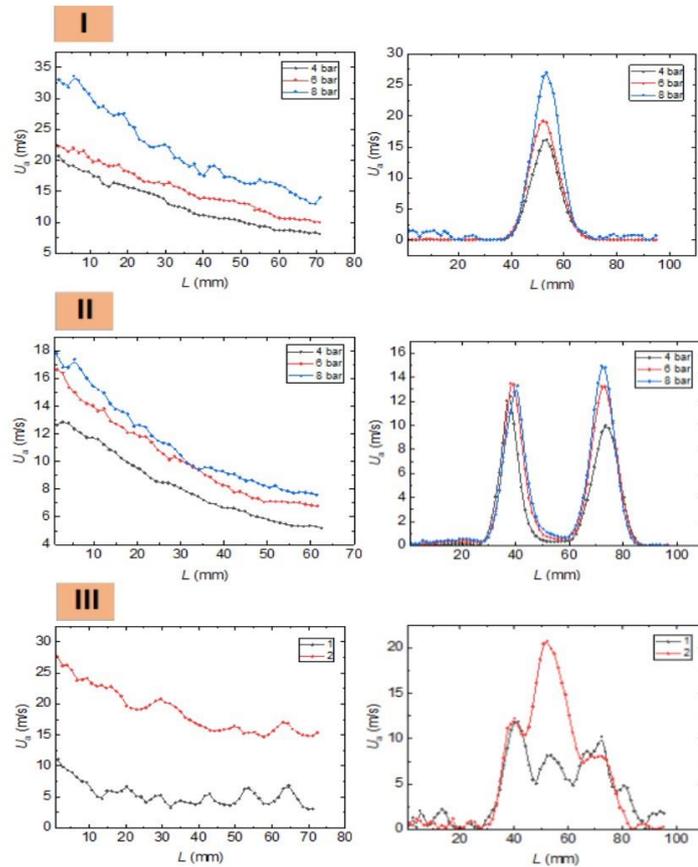


Figure 12 - Velocity profiles of air flows in the horizontal (left) and vertical (right) sections along the symmetry axis of the spray nozzle, the air flow generated by the primary atomizer (I), the secondary atomizer (II) at varying the pressure range 4 - 8 bar and joint use (III) with the following parameters: 1 - primary air pressure 4 bar, secondary air pressure 8 bar, $\varphi \approx 9.42$ rad; 2 - primary air pressure 8 bar, secondary air pressure 8 bar, $\varphi \approx 3.14$ rad

It is established that the velocities of air flows primary atomizer depend on the closing angle of the nozzle. Thus, at closing angle of 9.42 rad and a pressure of 6 bar, the speed of air flow is 12 m/s, but at the same pressure and closing angle of the nozzle 1.57 rad, the speed is 23 m/s. The smaller value of the closing angle, the

narrower drip flow was recorded. It is also determined that increasing pressure from 4 to 8 bar at closing angles of 1.57 rad, 4.71 rad and 9.42 rad leads to 32-48% increase in air flow rate. Using separate secondary atomizer and increasing pressure from 4 bar to 8 bar leads to an increase in air velocities by 28%, namely, from 13 m/s to 18 m/s, and it is determined that the velocities decrease by 56% with distance from the spray nozzle at distance of 63 mm. It is also established that the combined use of two atomizers at primary air pressure of 8 bar and $\varphi \approx 3.14$ rad contributes to obtaining sufficiently high values of air flow velocities - up to 30 m/s, while at primary air pressure of 4 bar and $\varphi \approx 9.42$ rad air flow velocity is 50% lower.

Fig. 13 shows values of jet opening angles (α), jet deflection angles from nozzle symmetry axis (β), volume fraction of drops with radius less than $100 \mu\text{m}$ (V_n), and average drop velocity (U) obtained by experiments without and with the use of secondary atomizer for all the studied compositions (Table 1).

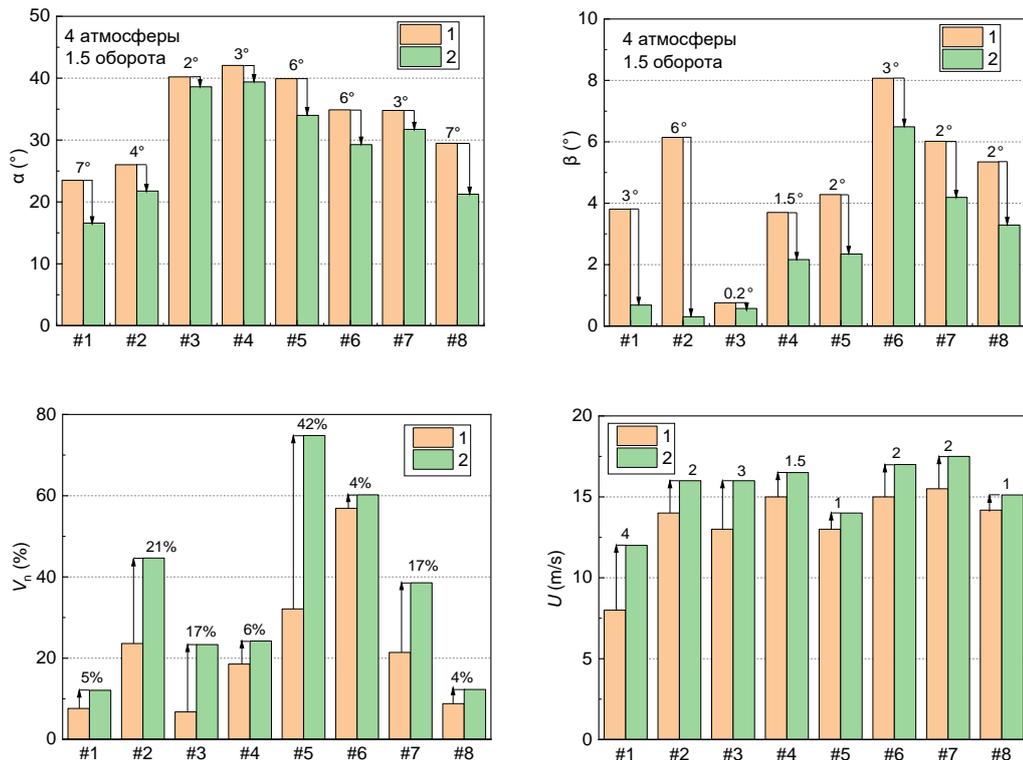


Figure 13 - Diagram of values jet opening angles (α), jet deflection angles from nozzle symmetry axis (β), volume fraction of drops with radius less than $100 \mu\text{m}$ (V_n), and average droplet speed (U), obtained without using (1), as well as with using (2) the secondary atomizer for all the studied compositions

Based on these diagrams (Fig. 13), it is reasonable to conclude that combined use of primary and secondary atomizer has positive effect on such atomization characteristics as jet opening angles (α) and jet deflection angles from nozzle symmetry axis (β). It is established that angle α decreases by 2-7°, and values of angle β decrease by 0.2-3°, which certainly has positive effect on the process of water-coal atomization. Also as a result of using secondary atomizer, there is noticeable increase in the volume concentration of droplets with radius of less than 100 μm in the range from 6% to 71%, which certainly confirms effectiveness of the secondary atomizer. In addition, the use of secondary atomizer contributes to an increase in the velocity of fuel droplets in the range from 1 m/s to 4 m/s.

Also, from Fig. 13 it is noticeable that the compositions №1, №5, №6, №8 have the greatest decrease in the opening angle value (α) in conditions of application secondary atomizer. This dependence is explained by lowest density values of these fuel compositions, which do not exceed the values of 1200 kg/m³. It can be concluded that compositions consisting 80-100% of water, as well as compositions with the addition of 1% soy lecithin, 1% sodium lignosulfonate will certainly have positive effect on the fuel atomization process using secondary atomizer. Composite liquid fuel with 1% soy lecithin showed highest value of volume fraction of droplets with radius of less than 100 μm when using secondary atomizer. Increase in concentration of small droplets was 42% when secondary atomizer was not used. The composition containing 5% rapeseed oil has largest value of angle opening fuel jet from the symmetry axis of the nozzle device in the absence and use of the secondary sprayer. The greatest angle of deviation jet from symmetry axis of nozzle has the composition containing 1% sodium lignosulfonate. The highest speed of motion fuel droplets in the process of spraying in conditions of use secondary atomizer and without it belongs to the composite fuel with 1% of diesel fuel.

A.4 Main conclusions

As a result of experimental studies, the nozzles with the use of secondary atomizer compared with usual use of the nozzle is shown the possibility of obtaining more uniform and finely dispersed spray, additional droplet separation, increasing flow rate, reducing angle of deviation jet from original trajectory. According to the results of research, the following conclusions were made:

1) application of channel for secondary air supply reduce the value of the angle deviation jet from original trajectory almost two times - from 7-8° to 2-3°;

2) the volume fraction of small (less than 100 μm radius) droplets using secondary atomizer increases to 71%, while the volume fraction of droplets with radii greater than 100 μm , on the contrary, decreases proportionally;

3) the use of primary and secondary atomizer together contributes to monodispersion (reduction of dispersion droplets by size) of the atomized flow, as well as fact that distribution of droplets by size in the vertical section of jet also becomes uniform;

4) when using channel for secondary air supply, droplet flow velocities increase to 30% compared with case when secondary atomizer is not used;

5) The combined use of primary and secondary atomizer contributes to improved spraying parameters in general.

References

1. X 1. Khodakov G.S. Water-coal suspensions in power engineering // Thermal Power Engineering. – 2007. – №1. – p. 36.
2. Ji J., Chen G., Zhao J., Wei Y. // Fuel. – 2020. – №282. – 118715.
3. Zlobina E.S., Papin A.V., Ignatova A.Yu. // IV International Scientific and Practical Conference. – 2015. – p. 213.
4. Senchurova Yu.A. Results of studies of spraying coal-water fuel with pneumo-mechanical nozzles / Yu.A. Senchurova., V.I. Murko, V.I. Fedyaev, D.A. Dziuba, E.M. Puzyrev // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University, 2008. – № 4. – p. 37.
5. Baranova M.P. Influence of plasticizing additives on the rheological characteristics of water-coal suspensions from coals of different degrees of metamorphism / M.P. Baranova // Proceedings of KSTU. – 2006. – № 2. – pp. 143–147.
6. G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, T.R. Valiullin, R.S. Volkov. Atomization behavior of composite liquid fuels based on typical coal processing wastes, Fuel Process. Technol. 225 (2022) 107037.