

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси для технологических нужд

УДК 004.896:662.762

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Ткаченко Павел Петрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШЭ	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код	Результат обучения
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>	
P1	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
P2	Разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>	
P3	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
P4	Применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
P5	Применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>	
P6	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
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>	
P7	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
<i>педагогическая деятельность:</i>	
P8	Осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки
<i>Универсальные компетенции</i>	
P9	Мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации
P10	Использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться
P11	Использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере

	<p>III. приготовление смесей не менее чем из 3 компонентов;</p> <p>IV. обеспечение 3 режимов управления;</p> <p>V. обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 0,75.</p>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1. Экспериментальные исследования.</p> <p>2. Проектирование АСУ подготовкой многокомпонентной газопаракапельной смеси.</p> <p>3. Разработка щита управления системы.</p> <p>4. Расчет параметров настройки регулятора.</p> <p>5. Видеокадр мнемосхемы АСУ.</p> <p>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>7. Социальная ответственность.</p>
Перечень графического материала	<p>1. Схема структурная.</p> <p>2. Схема функциональная.</p> <p>3. Схема внешних проводок</p> <p>4. Схема электрических соединений щита управления</p> <p>5. Сборочный чертеж щита управления</p> <p>6. Общий вид щита управления</p>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Экспериментальные исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	6.02.2020
---	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШЭ	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Ткаченко Павел Петрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 155 с., 27 рис., 37 табл., 90 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: соударения капель; режимы взаимодействия; газопарокапельные смеси; сушильные камеры; дефростеры; разморозка; автоматизированная система управления; теплоэнергетика; теплотехника.

Объектом автоматизации является система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси для технологических нужд.

Цель работы – разработка автоматизированной системы подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси для технологических нужд на основе микропроцессорных средств автоматизации.

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

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

Оглавление	
Реферат	5
Введение.....	10
1 Экспериментальные исследования.....	14
1.1 Влияние вязкости и поверхностного натяжения жидкости на режимы и последствия столкновений капель	18
1.2 Соударение капель воды с разной начальной температурой	29
2 Системный анализ объекта автоматизации.....	34
2.1 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления ...	38
2.1.1. Структурная схема АСУ.....	38
2.1.2. Структурная схема измерительных каналов.....	40
2.2 Разработка функциональной схемы системы управления.....	42
2.3 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации	44
2.3.1 Выбор датчиков температуры.....	44
2.3.2 Выбор преобразователя давления	46
2.3.3 Выбор технических средств измерения расхода	49
2.3.4 Выбор регулирующего устройства	51
2.3.5 Выбор исполнительного механизма.....	52
2.3.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом.....	53
3 Разработка щита управления	55
3.1 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления	55
3.2 Проектирование схемы внешних проводок	57
3.3 Разработка сборочного чертежа щита управления.....	59
4 Расчет параметров настройки регулятора	60

4.1	Идентификация объекта управления	60
4.2	Расчет параметров настройки регулятора	63
5	Разработка фрагментов программного и информационного обеспечений.....	70
5.1	Программное обеспечение	70
5.2	Разработка мнемосхемы SCADA-системы.....	72
5.3	Информационное обеспечение	74
5.4	Алгоритмы управления системы.....	75
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	78
6.1	Предпроектный анализ	78
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	78
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	80
6.1.3	FAST-анализ	81
6.1.4	Диаграмма Исикава.....	86
6.1.5	SWOT-анализ.....	87
6.1.6	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	93
6.1.7	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	95
6.2	Инициация проекта	96
6.3	Планирование работ и оценка времени выполнения	98
6.3.1	Иерархическая структура работ проекта	98
6.3.2	Контрольные события проекта	99
6.3.3	План проекта.....	100
6.4	Смета затрат на проект	104
6.4.1	Материальные затраты	104

6.4.2 Затраты на амортизацию	104
6.4.3 Затраты на заработную плату	105
6.4.4 Затраты на социальные нужды	106
6.4.5 Прочие затраты.....	106
6.4.6 Накладные расходы.....	107
6.5 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	107
6.6 Определение экономической эффективности проекта	109
6.7 Реестр рисков проекта	110
6.8 Оценка сравнительной эффективности исследования	111
7 Социальная ответственность	115
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	115
7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	116
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	117
7.2 Производственная безопасность	117
7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	117
7.2.2 Превышение уровня шума	119
7.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений	120
7.2.4 Превышение уровня вибрации	121
7.2.5 Отклонение показателей микроклимата.....	122
7.3 Экологическая безопасность.....	124
7.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду	124
7.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	125
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	126

7.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	129
Заключение	130
Основные публикации автора магистерской диссертации:	131
Список использованных источников	132
Приложение А «Experimental research on the influence of viscosity and surface tension on the liquid droplet collisions»	141
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.009 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.009 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.009 Э3	Схема принципиальная электрическая щита управления
ФЮРА.421000.009 С4	Схема внешних проводок
ФЮРА.421000.009 ЗС	Заказная спецификация ТСА
ФЮРА.421000.009 ПЭ	Перечень элементов
ФЮРА.421000.009 СБ	Сборочный чертеж щита управления
ФЮРА.421000.009 СБС	Спецификация щита управления
ФЮРА.421000.009 ОВ	Общий вид щита управления

Введение

Изучению интенсификации различных теплообменных и физико-химических процессов и фазовых превращений за последние 30 лет посвящено большое количество работ российских и зарубежных авторов [1–12]. Область практического применения газопарокапельных смесей включает в себя борьбу с лесными и техногенными пожарами, химическую и нефтяную промышленность, теплообменное оборудование и системы. Большой интерес вызывает их применение в системах впрыска топлива в двигателях внутреннего сгорания и котельных агрегатах. В условиях ограниченности водных ресурсов актуальна область термической очистки воды.

В рамках борьбы за снижение вредных выбросов и экономичное использование полезных ресурсов ведется работа по повышению эффективности извлечения теплоты из энергоносителей. При условии необходимости больших капиталовложений в повышение КПД котельных агрегатов на тепловых электрических станциях (ТЭС) рассматривают общее повышение эффективности извлечения энергии в рамках всей станции. К основным потерям теплоты на ТЭС относятся потери с уходящими дымовыми газами [1, 2]. Для котлов на газовом топливе в среднем величина этих потерь находится на уровне 4–5 % [1, 2], при том, что в парах содержится около 11–14 % теплоты, выделяемой при сгорании газа. Использование контактных экономайзеров позволяет извлечь часть теплоты из дымовых газов за счет нагрева распыленной воды продуктами сгорания [3]. Такой подход позволяет повысить КПД установок и частичному очищению уходящих газов [4, 5], однако они все равно уносят в себе часть теплоты, которую можно извлечь при использовании газов в качестве теплового агента.

Для интенсификации процессов фазовых превращений путем снижения температуры в зоне горения и таким образом локализации зоны пламенного горения используют тонкораспыленную жидкость или жидкостные «завесы». Высокая эффективность такого подхода с применением капельных потоков с

размерами фрагментов от 10 мкм до 500 мкм подтверждена работами [6–9]. В [6–9] доказывалось, что тонкое распыление жидкости увеличивает скорость испарения с потреблением большего количества теплоты, чем при испарении такого объема нераспыленной жидкости. Эффективность тушения пожаров мелкодисперсными каплями жидкости могут снижать взаимодействие с соседними каплями при движении в потоке продуктов сгорания. Также препятствуют эффективному тушению восходящие горячие конвективные потоки. Они тормозят движущиеся вниз легкие капли жидкости, но таким образом над областью горения формируется пароводяной слой, перекрывающий доступ кислорода в зону горения [10, 11]. Для преодоления уноса капель с сохранением эффективности испарения жидкости используются технологии вторичного измельчения жидкости непосредственно в зоне теплообмена [12]. Измельчение осуществляется за счет нескольких методик: столкновение двух капель, столкновение капли с твердой поверхностью, микровзрывное разрушение и дробление газовой струей. В практике тушения пожаров наиболее перспективной является измельчение жидкости за счет столкновения жидкостных массивов. Таким образом можно достигнуть требуемых размеров образованных фрагментов или вторичных капель без применения дополнительных технических средств.

Новым способом извлечения теплоты из уходящих дымовых газов является их использование совместно с потоком капель и паров в виде теплоносителей. Наиболее перспективной областью применения такого теплоносителя для разморозки сырья в обрабатывающей и тяжелой промышленности, поступающего в вагонах угля на ТЭС, подготовка материалов и поверхностей в строительстве. Из-за отсутствия поверхностей теплообмена в технологиях, подразумевающих применение газопарокапельных теплоносителей, повышается КПД теплообмена до уровня 90–95 % [13]. В некоторых приложениях при атмосферном давлении возможно повышение температуры в заданном объеме до 900–1000 К. Таким образом повышается мобильность установок и увеличивается скорость теплообменных процессов

без больших капиталовложений в создание установок, рассчитанных на большое рабочее давление [13–15].

Предприятия нефтегазовой отрасли при добыче и переработке сырья производят большие объемы жидких отходов, отработанных технологических и сточных вод. Жидкие отходы переработки содержат различные примеси (соли, аммиачные соединения, органические соединения, сероводород), опасные для окружающей среды и персонала. Большой объем ежедневных стоков (до нескольких сотен кубометров в сутки) осложняет их транспортировку и хранение. Попадание загрязненных отходов в реки может вызвать экологическую катастрофу на десятках и сотнях километрах. Очистка таких жидких отходов сложна с точки зрения технологического исполнения и затратна с финансовой точки зрения. Наиболее дешевым, эффективным и доступным методом очистки считается термическое и огневое обезвреживание [16, 17]. Суть этого метода в мелкодисперсном распылении промышленных стоков в область горячих газов, получаемых при сжигании топлива. Под действием высоких температур жидкая часть отходов испаряется, а содержащиеся в них примеси сгорают или уносятся вместе с уходящими газами.

К настоящему времени в литературных источниках по экспериментальному и теоретическому исследованию смешения горячих газовых парокапельных потоков недостаточно сведений об их влиянии друг на друга. Также недостаточно информации о влиянии движущихся совместно капель в разогретых газовых потоках. Причиной этого является сложность измерения температурных и скоростных полей традиционными методами измерения. Сложность вызывает и регистрация влияния паров движущихся последовательно капель на последующие. Для решения этих задач актуально использование современных бесконтактных методов измерения и регистрации. Модели, построенные с использованием таких методов, будут иметь наиболее адекватные результаты. Для их более точной реализации необходимо проведение фундаментальных и прикладных исследований по прогреву капель

и их испарению в высокотемпературных газовых средах [18]. При температурах выше 500 К скорости испарения могут отличаться от теоретических в несколько раз [18]. Преобладающее число работ по данной тематике имеют теоретический характер, так как проведение достоверных экспериментов ограничено высокой скоростью протекания фазовых превращений и серьезному влиянию средств измерения на протекающие процессы.

1 Экспериментальные исследования

Список обозначений

b – линейный параметр сближения, мм;

B – безразмерный линейный параметр взаимодействия капель;

N_{ti} – количество образованных капель;

R_{d1} – радиус первой капли, мм;

R_{d2} – радиус второй капли, мм;

r_d – радиус образованных капель, мм;

S_0 – площадь свободной поверхности исходных капель, мм²;

S_1 – площадь свободной поверхности образованных фрагментов, мм²;

U_{d1} – скорость движения первой капли, м/с;

U_{d2} – скорость движения второй капли, м/с;

U_{rel} – относительная (результатирующая) скорость движения капель, м/с;

We – число Вебера.

Греческие символы

α_d – угол атаки;

β – безразмерный угловой параметр взаимодействия капель;

Δ – относительное смещение границы режима взаимодействия;

ρ – плотность, кг/м³;

σ – поверхностное натяжение, Н/м;

μ – динамическая вязкость, Па·с.

Аббревиатуры режимов взаимодействия

BO – отскок (bounce);

CO – коагуляция (coalescence);

DI – дробление (disruption);

SE – разлет (separation).

Измельчение капель жидкостей долгое время интересует научных исследователей [19–21]. Высокий интерес к данной теме объясняется широким спектром промышленных технологий, использующих газопарокапельные потоки [22–24]: термическая и огневая очистка воды; теплообменные технологии испарения и конденсации в тепловых установках и др. Основной целью изучения процессов измельчения капель является увеличение площади свободной поверхности жидкости [25] для интенсификации теплообменных процессов. Чаще всего выделяют первичное [26] и вторичное [27] измельчение жидкостного потока. Первичное измельчение капель достигается путем применения форсуночных устройств, капилляров, нагнетателей и др. В качестве основных схем вторичного измельчения принято считать основанные на соударениях капель между собой или с твердой поверхностью, например, стенкой.

Исследования влияния вязкости жидкости на характеристики и последствия процессов при столкновении капель представлены в [28–30]. Sommerfeld и Kuschel [28] в качестве исследуемых жидкостей использовали: этанол, пропанол, гексанол, гептанол, нонанол, додеканол. Диапазон вязкости составов составил 0,0012–0,0159 $\mu\text{Па}\cdot\text{с}$. В результате анализа полученных данных [28] предложена модель для описания критических значений числа Вебера для границ reflexive separation и stretching separation. Определено положение тройной точки, расположенной на пересечении границ режимов отскока, коагуляции и stretching separation, и установлено ее положение зависимости от вязкости. Установлено, что с увеличением вязкости положение тройной точки смещается в сторону меньших значений безразмерного линейного параметра взаимодействия (B).

Изучение эмульсий молока и глицерина проведено Finotello и др. [30]. Исследуемые составы имели вязкость в диапазоне от 0,0043–0,0888 $\mu\text{Па}\cdot\text{с}$. Значение поверхностного натяжения находилось в диапазоне от 0,0461 Н/м до 0,0685 Н/м. Получено выражение для границы перехода между коагуляцией и reflexive separation для молочной эмульсии и определены критические значения числа Вебера и безразмерного линейного параметра для данных составов.

Результаты исследований влияния поверхностного натяжения жидкости на характеристики процессов при коагуляции представлены в [31,32]. В [31] использовались эмульсии на основе силиконовых масел со значениями поверхностного натяжения в диапазоне 0,0229–0,0505 Н/м. Авторами [31] изучалось время, необходимое для коагуляции капель, в зависимости от межфазного натяжения. Результаты экспериментов [31] показали, что межфазное натяжение влияет на время коагуляции только при очень малых скоростях движения потока (менее 0,01 м/с). При большей же скорости межфазное натяжение не оказывает значимого влияния. В [32] проводилось моделирование столкновений капель воды в гептановой среде. В зависимости от результирующей скорости капель демонстрировались разные последствия соударения. Например, при скорости меньше 3,5 м/с между каплями образуется небольшая граница раздела, в зоне контакта капель наблюдался небольшой канал. При скорости столкновения 16 м/с между каплями образовывалась четко видимая межфазная пленка, состоящая из н-гептана.

Динамика процесса коагуляции двух капель в коллоидно-полимерной смеси с низким поверхностным натяжением при разной вязкости жидкости капель изучалась Aarts и др. [33]. В экспериментах использовались силиконовые масла (Rhodorsil) с вязкостью 5–1000 мПа·с, поверхностным натяжением 20 мН/м и плотностью 970 кг/м³. Такой тип масла выбран исходя из его свойств сохранять постоянное значение поверхностного натяжения при разной вязкости. Регистрация коагуляции проводилась с помощью высокоскоростной видеокамеры (Phantom V7), скорость съемки 11200 кадр/с. Результаты показали, что при $Re \approx 1,5 \pm 0,5$ доминируют инерционные эффекты. Размер жидкостного перешейка между каплями увеличивался по зависимости квадратного корня из времени.

В [34] изучено влияние температуры капель на последствия их столкновений. Одна из капель являлась неподвижной, находящейся на супергидрофобной кремневой поверхности. Установлено, что повышение температуры капель приводит к увеличению вероятности их слияния, т.е. к большему диапазону изменения числа Вебера для режима коагуляции. В [34]

температура капель варьировалась от 20 до 50 °С, а размеры капель составляли около 2 мм. В результате экспериментальных исследований установлено уменьшение времени слияния с повышением температуры капель. Такая же зависимость выявлена и в [35]. На основе данных [34,35] сформулированы предположения о том, что увеличение температуры обеих капель (или хотя бы одной из них) приводит к увеличению количества активных молекул на границе столкновений капель, что, в свою очередь, ускоряет образование так называемого жидкого мостика, который в дальнейшем способствует слиянию взаимодействующих капель.

Так как процессы соударения капель жидкости протекают в теплообменном оборудовании [36], то соседние капли жидкости могут иметь разные температуры. В распылительных установках температура распыляемой воды может варьироваться в широких диапазонах. Актуальным является изучение влияния температуры воды на положение границ переходов между реализуемыми в ходе их взаимодействия режимами и интегральными характеристиками образования вторичных капель.

В [37] изучено столкновение двух капель с разными температурами на супергидрофобной поверхности. В экспериментах [37] холодная капля температурой 27 °С помещалась на гидрофобную подложку. На нее падала горячая капля температурой 27–70 °С. Диаметр капель составлял около 2,2 мм с погрешностью ± 1 %. Жидкость предварительно нагревалась в течении 3 мин. Контроль температуры горячей капли проводился при ее прохождении через змеевидный нагреватель. Регистрация взаимодействия осуществлялась с помощью высокоскоростной видеокамеры. Для визуального наблюдения за границей раздела капель и их смешением в покоящуюся каплю добавлялся краситель. Результаты взаимодействия разделены на три группы: коагуляция; растекание по поверхности; и отскок результирующей капли от поверхности. При одинаковой температуре жидкости (27 °С) обе капли сильно деформировались и происходила диссипация энергии. Коагуляция капель происходила при их максимальном растекании. При увеличении температуры падающей капли деформация становилась слабее, а коагуляция происходила до

момента максимального растекания. Это в свою очередь уменьшало потери энергии. Из полученных результатов сделан вывод, что изменением температуры падающей капли можно достичь отскока результирующей капли от поверхности.

1.1 Влияние вязкости и поверхностного натяжения жидкости на режимы и последствия столкновений капель

При проведении экспериментальных исследований по определению влияния вязкости и поверхностного натяжения жидкости на режимы взаимодействия и последствия столкновений капель использовался стенд, представленный на рисунке 1.1.

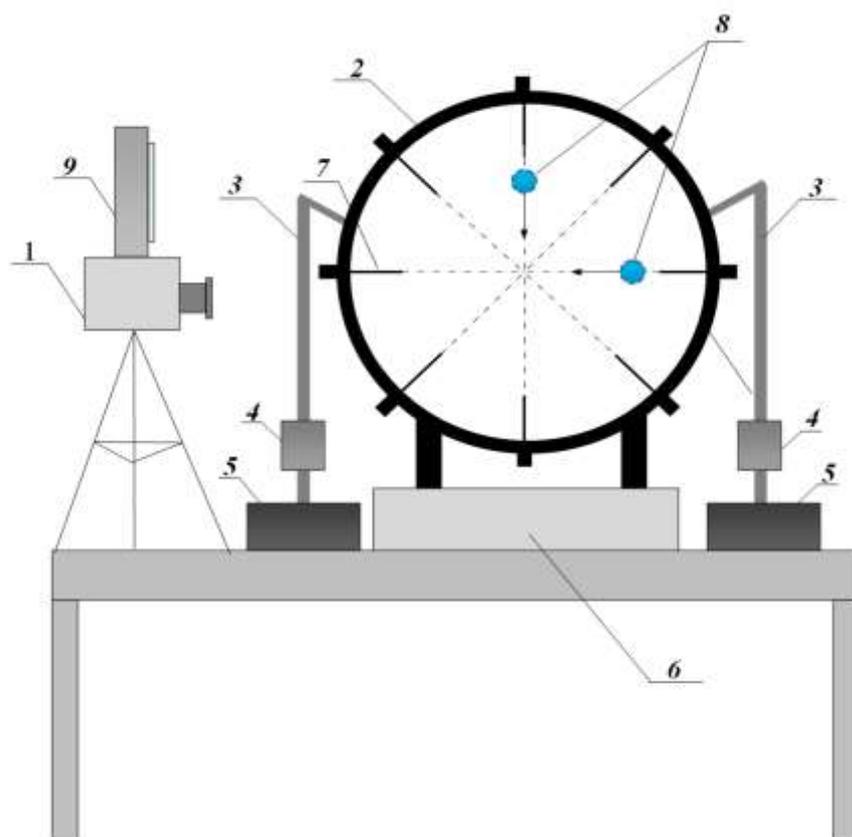


Рисунок 1.1 – Схема экспериментального стенда: 1 – высокоскоростная видеокамера; 2 – дисковый элемент, удерживающий сопла подачи жидкости; 3 – канал подачи жидкости; 4 – насос; 5 – емкость с подаваемой жидкостью; 6 – емкость для сбора жидкости; 7 – капилляры; 8 – капли; 9 – система освещения

Регистрация взаимодействия капель проводилась с помощью высокоскоростной видеокамеры (1) (разрешение 1152×864 , частота регистрации от 1000 до 5000 кадров в секунду). Обработка видеокадров происходила с использованием программы Photron Fastcam Viewer. Систематические погрешности определения скоростей движения капель не превышали 3,4%, размеров R_{d1} , R_{d2} – 2,1%, а углов соударений α_d – 1,8%.

Поток капель генерировался с помощью сменных сопел разного размера (0,5–1 мм) установленных на капиллярах. Нагрев жидкости вплоть до 100 °С осуществлялся с помощью газовой горелки (мощность 1,09 кВт, максимальная температура 1300 °С). Для контроля температуры использовалась хромель-алюмелевая термопара (диапазон измерения –50 °С–1200 °С, диаметр сая около 0,5 мм, погрешность ± 1 °С, время тепловой инерции около 1 с).

Сопла устанавливались на дисковый элемент с помощью которого изменялся угол атаки капель (α_d) в диапазоне от 0° до 90°. Подача жидкости осуществлялась при помощи насосов из емкостей. Скорость капельного потока изменялась производительностью насосов от 0,008 до 0,027 л/с.

Для оценки влияния вязкости на процессы фрагментации капель при соударениях между собой использовалась группа растворов глицерина: 10 об% глицерина, 90 об% вода; 25 об% глицерина, 75 об% вода; 50 об% глицерина, 50 об% вода.

Реологические свойства составов определялись с помощью вискозиметра Brookfield DV3T LV при температуре от 20 до 23 °С. Вискозиметр комплектуется четырьмя шпинделями для измерения разновязкостных жидкостей ($\mu=0,001$ –6000 Па·с). Скорость вращения шпинделей варьировалась в диапазоне 10–250 об/мин [29]. Погрешность измерения скорости сдвига вискозиметром в соответствии с ГОСТ Р 53708-2009 [32] (аналог ASTM D445 [32]) составила $\pm 1\%$. Регистрация измерений проводилась с помощью

программного обеспечения RheocalcT. Преимуществом данного ПО является автоматическое управление и сбор результатов измерения.

Для изучения влияния поверхностного натяжения жидкости приготавливались специализированные составы с использованием ПАВ: 0,5 об% Твин 20; 0,5 об% Твин 80; 0,5 об% Неонол АФ9-12, 99,5 об% вода. Измерение поверхностного натяжения жидкостей проводили методом отрыва кольца (метод дю Нуи) [34] с помощью тензиометра К6 фирмы KRUSS при температуре 20 °С. Калибровку прибора осуществлялась при проведении измерений поверхностного натяжения бидистиллированной воды (поправочный коэффициент равен 0,995). Свойства использованных растворов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Свойства использованных жидкостных составов

Наименование состава	Плотность ρ , кг/м ³	Поверхностное натяжение σ , Н/м	Динамическая вязкость μ , Па·с
Вода	998	0,07269	0,0014
Раствор глицерина (10 об%)	1022	0,0713	0,001371
Раствор глицерина (25 об%)	1060	0,0693	0,002239
Раствор глицерина (50 об%)	1126	0,0661	0,006301
95,5 об% вода, 0,5 об% Твин 80	998	0,0474	0,0014
95,5 об% вода, 0,5 об% Твин 20	998	0,0401	0,0014
95,5 об% вода, 0,5 об% Неонол	998	0,0361	0,0014

Схема регистрации характеристик соударяющихся капель представлена на рис 1.2.

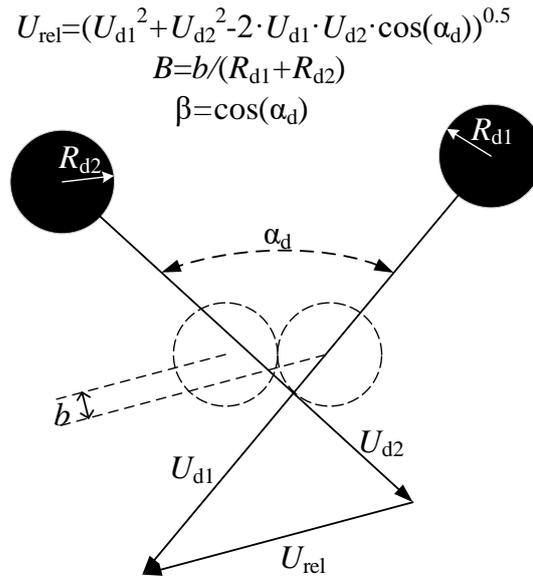


Рисунок 1.2 – Схема регистрации параметров соударения капель

Рассчитывалась результирующая скорость взаимодействия капель по широко применяемой [38,39] теореме косинусов $U_{rel} = (U_{d1}^2 + U_{d2}^2 - U_{d1} \cdot U_{d2} \cdot 2 \cdot \cos(\alpha_d))^{0.5}$. Такой подход позволяет учесть скорость движения каждой капли и угол атаки между ними. При помощи вектора результирующей скорости взаимодействия и расстояния между центрами масс капель (b) рассчитывался безразмерный линейный параметр взаимодействия $B = b / (R_{d1} + R_{d2})$ [20,21]. Таким образом учитывается центричность удара, соответственно B может принимать значения от 0 до 1. Безразмерный линейный параметр взаимодействия позволяет учитывать еще один важный параметр – угол атаки (α_d). Следующим важным параметром при столкновении капель является число Вебера ($We = 2 \cdot \rho \cdot R_{d1} \cdot U_{rel}^2 / \sigma$) [38,39]. Оно позволяет учесть свойства жидкости, результирующую скорость взаимодействия и размеры капель. В некоторых случаях при построении карт используется угловой параметр взаимодействия ($\beta = \cos(\alpha_d)$) [38,39]. Его существенным недостатком является учет только угла атаки, поэтому его следует применять только при столкновении с четко установленной центричностью удара. Поэтому в работе при анализе результатов применялся безразмерный линейный параметр взаимодействия B .

Дробление капель представляет наибольший интерес для использования в промышленных установках, принцип работы которых основан на применении газопарокапельных смесей. Для таких установок важным критерием является дробление капель относительно начальных размеров. Для этого из полученных видеogramм эксперимента выделялся режим дробления. Измерялся радиус (r_d) всех образованных вторичных капель и их количество (N). Далее проводился расчет начального объёма ($V_0=4\cdot\pi\cdot(R_{d1}^3+R_{d2}^3)/3$) жидкости двух исходных капель. Для учета всех вторичных капель рассчитывался их объём ($V_1=4\cdot\pi\cdot\sum r_{di}^3/3$) с учетом радиуса и количества. Часть образованных фрагментов вылетала за область регистрации либо из области фокусировки объектива видеокамеры. Это приводило к тому что начальный объём жидкости существенно превосходил объём образованных фрагментов. При обработке этот эффект устранялся пропорциональным увеличением количества фрагментов в зависимости от их радиуса, до достижения равенства $V_0=V_1$. Предварительные эксперименты с тремя видеокамерами, позволяющими воспроизводить условия пространственной видеорегистрации, обосновали правомерность такого подхода, так как средние размеры и количество вторичных капель при его применении отличались не более чем на 6–8%.

Для демонстрации эффективности измельчения начальных капель относительно образованных вторичных капель рассчитывалось отношение площади свободной поверхности образованных фрагментов к аналогичному параметру для исходных капель (S_1/S_0). Площадь свободной поверхности вторичных капель вычислялась как: $S_1=4\cdot\pi\cdot\sum r_{di}^2$. Площадь свободной поверхности начальных капель: $S_0=4\cdot\pi\cdot(R_{d1}^2+R_{d2}^2)$. Также для промышленных теплообменных установок интерес представляет площадь покрытия образованных вторичных капель: $S_a=4\cdot\pi\cdot R_a^2$. Для расчета такой площади измерялся радиус аэрозольного облака (R_a), наполненного вторичных капель. При его вычислении все мелкие капли начинали менять вектор скорости под действием силы тяжести. Также рассчитывался объём этого облака (V_a).

При столкновении капель выделялось [40–44] четыре типовых исхода: отскок, коагуляция, разлет и дробление. Отскок характеризуется упругим

ударом капля без разрушения поверхностного слоя жидкости и образования новых форм. Перемешивание жидкости при этом не происходит. При коагуляции капли соединяются, образуя одну единую новую формацию. При дальнейшем движении капли не распадаются на отдельные фрагменты. В режиме разлета капли на первом этапе коагулировали, происходило перемешивание слоев жидкости, но из-за преобладания сил инерции и упругости над силами вязкости далее разделялись и продолжали движение независимо друг от друга. Дробление отличается от разлета тем, что исходом является образование совокупности новых фрагментов или вторичных капель после удара. Видеокадры четырех описанных исходов приведены на рисунке 1.3.

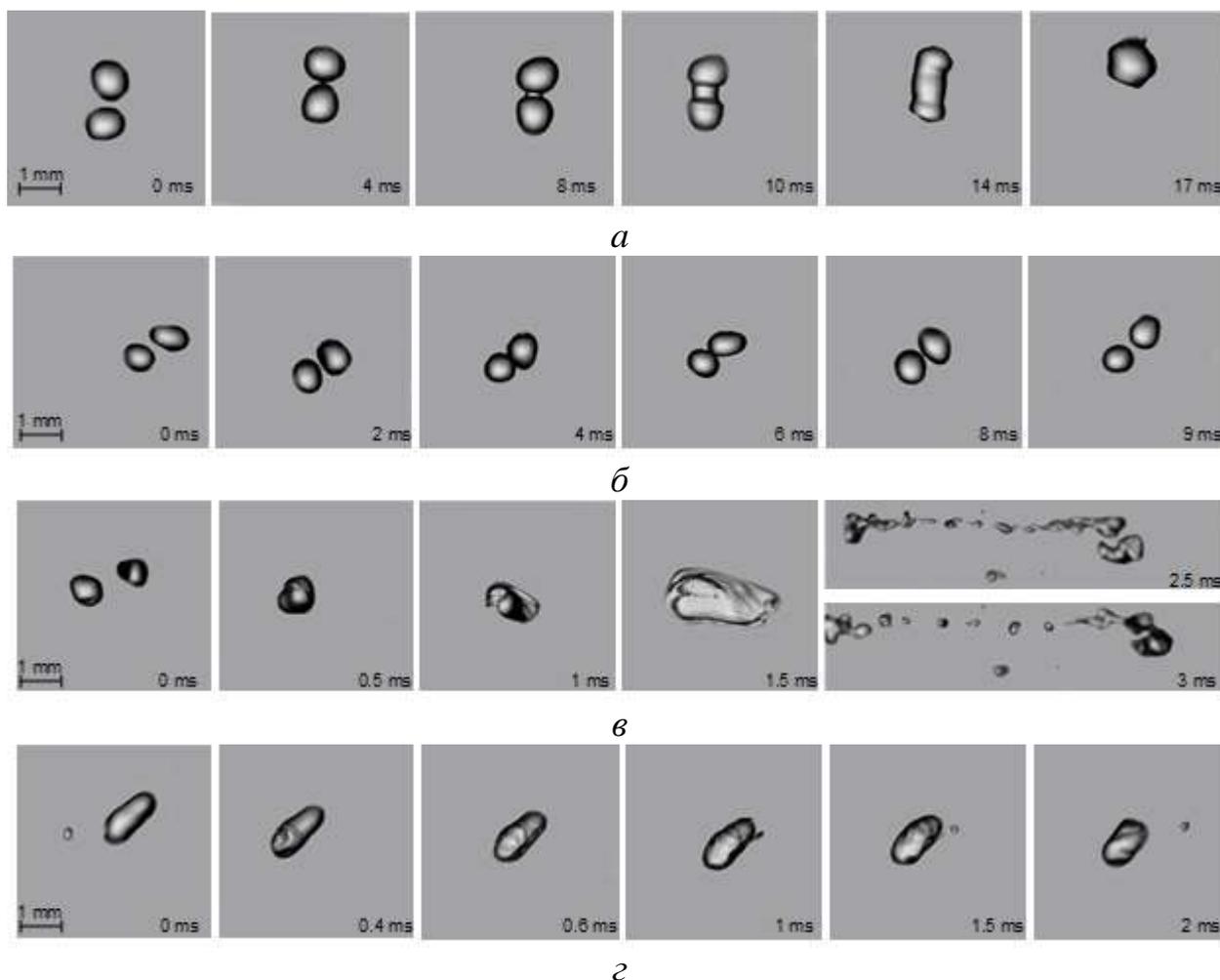


Рисунок 1.3 – Видеокадры с иллюстрацией основных режимов взаимодействия капель: *а* – коагуляция; *б* – отскок; *в* – дробление; *з* – разлет

Увеличение вязкости жидкости вызвало незначительное смещение границ режимов дробления и разлета в сторону больших чисел Вебера (рис. 1.4).

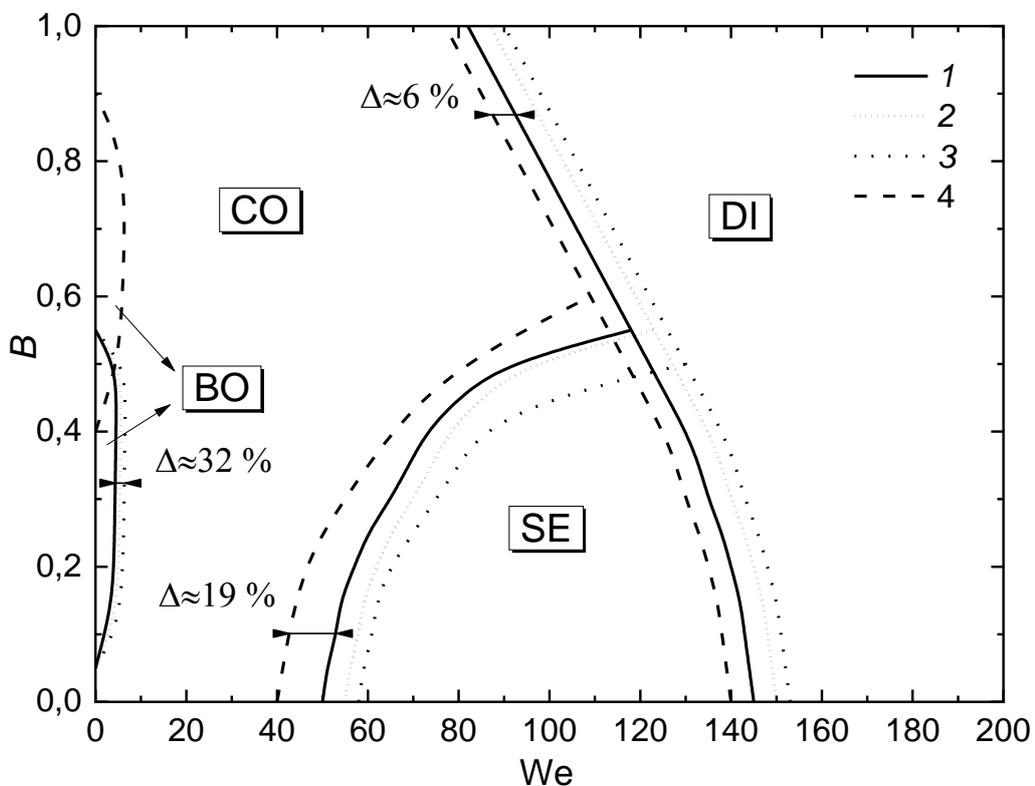


Рисунок 1.4 – Влияние вязкости жидкости на границы переходов между областями, соответствующими различным режимам соударений капель:
 1 – 10 об% глицерина, 90 об% вода; 2 – 25 об% глицерина, 75 об% вода;
 3 – 50 об% глицерина, 50 об% вода; 4 – вода

Граница дробления для раствора глицерина также претерпела небольшое смещение относительно опытов с каплями воды ($\Delta \approx 6\%$) в сторону увеличения значений We . Установлено изменение положения тройной точки, расположенной на пересечении границ режимов коагуляции, разлета и дробления. Положение тройной точки при столкновении капель воды соответствует значению $V=0,6$. При проведении экспериментов с растворами глицерина ее положение смещалось в сторону меньших значений безразмерного линейного параметра взаимодействия до значения $V=0,5$. Отскок капель глицерина зарегистрирован при меньших значениях V . Увеличение

концентрации глицерина в растворе не привело к смещению границы области отскока. Такое поведение границы области отскока объясняется низким значением результирующей скорости, следовательно, и We . Силы поверхностного натяжения преобладают над силами инерции.

Увеличение вязкости раствора способствует образованию более крупных вторичных капель. Это показано на рисунке 1.5. При обработке видеок кадров установлено, что капли с большей вязкостью быстрее принимают сферическую форму и подвержены меньшим колебаниям при движении. Более сферичная форма способствует равномерному распределению действующих на каплю сил, и они сложнее дробятся. При дроблении вязкие жидкости образуют более крупные фрагменты, чем менее вязкие составы. Таким образом, проведенные эксперименты обосновали, что для интенсивной вторичной фрагментации капель целесообразно использовать жидкостные составы с малой вязкостью. Это заключение справедливо во всем использованном широком диапазоне (до 200) варьирования интегрального параметра – числа Вебера.

При высоких результирующих скоростях движения капель ($We > 150$) установлен неоднозначный результат. Он заключается в том, что при больших значениях We становятся незначительными отличия размеров вторичных капель при использовании составов с разной вязкостью. Это обусловлено тем, что с увеличением вязкости увеличиваются силы внутреннего трения. Следствием этого становится то, что капля-снаряд пробивает каплю-мишень с формированием жидкостного перешейка между ними. После распада такого перешейка образуется большое количество вторичных капель. Поэтому можно сделать вывод о больших перспективах использования в системах вторичного распыления комбинированных струйных потоков, в которых снаряды представлены жидкостями с существенно большей вязкостью по сравнению с мишенями.

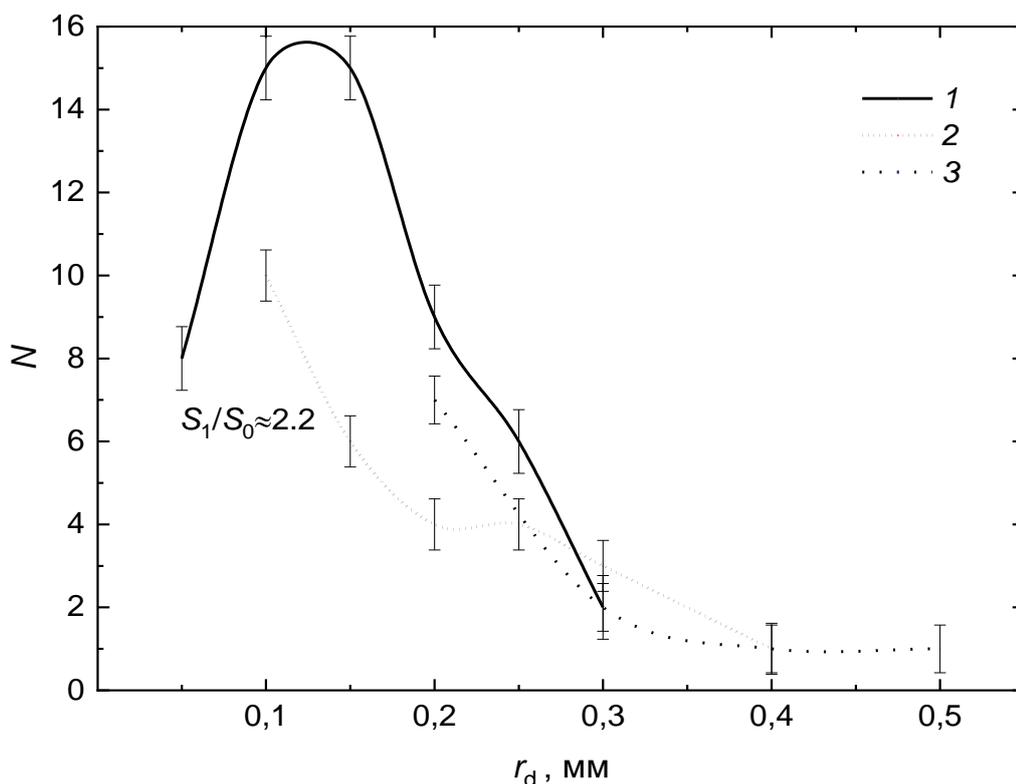


Рисунок 1.5 – Распределение образованных фрагментов жидкости по размерам при $We \approx 150$ и использовании составов с варьируемой вязкостью жидкости: 1 – 10 об% глицерина, 90 об% вода; 2 – 25 об% глицерина, 75 об% вода; 3 – 50 об% глицерина, 50 об% вода; 4 – вода

При изучении влияния поверхностного натяжения жидкости на положение границ режимов взаимодействия капель установлено, что с уменьшением поверхностного натяжения в два раза граница перехода к режиму дробления смещается в сторону меньших значений числа Вебера на $\Delta \approx 67\%$ (рис. 1.6). Такой же результат наблюдался для границы режима разлета. Ее смещение относительно аналогичной границы для воды составило $\Delta \approx 63\%$. Такое положение границ переходов между режимами объясняется снижением критического значения кинетической энергии, необходимой для преодоления сил поверхностного натяжения капель.

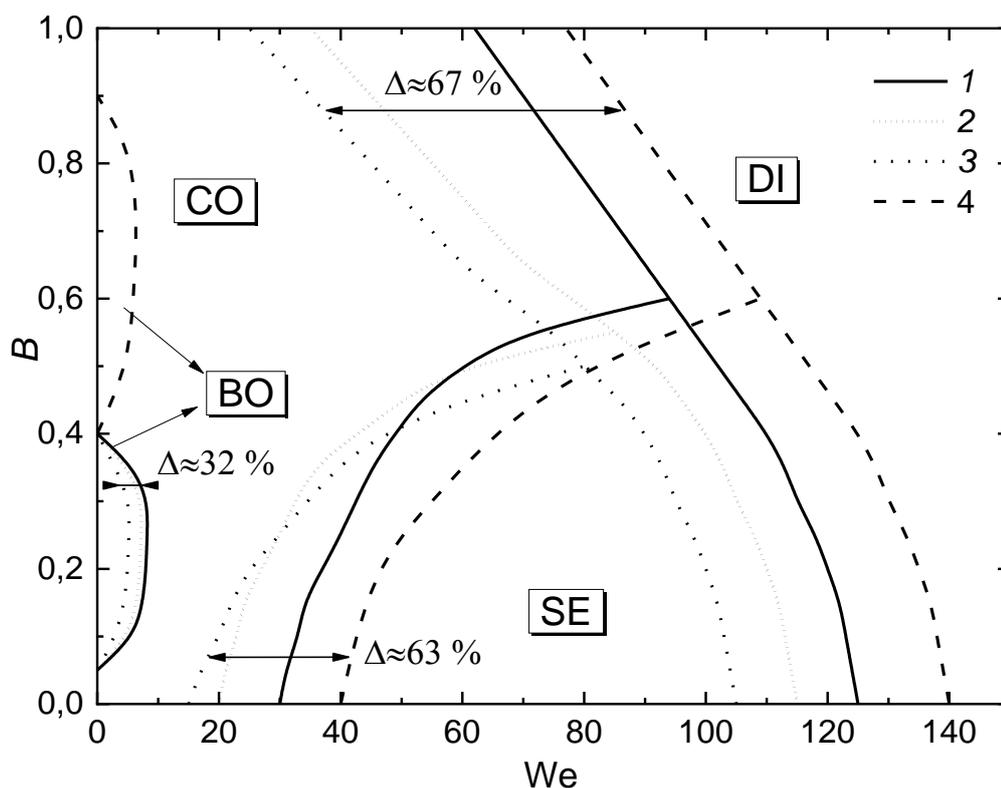


Рисунок 1.6 – Влияние поверхностного натяжения жидкости на границы режимов взаимодействия капель: 1 – 0,5 об% Твин 80, 99,5 об% вода; 2 – 0,5 об% Твин 20, 99,5 об% вода; 3 – 0,5 об% Неонол АФ9-12, 99,5 об% вода; 4 – вода

Тройная точка также меняла свое положение как по оси значений безразмерного линейного параметра взаимодействия B , так и по оси We . Область отскока изменило свое положение по оси B с 0,4–0,9 у воды до 0,05–0,4 у растворов поверхностно-активных веществ.

На рисунке 1.7 показаны распределения образованных капель по размерам. Установлено, что с уменьшением поверхностного натяжения увеличивается количество образованных фрагментов. Это объясняется переходом части энергии, расходуемой на преодоление сил поверхностного натяжения, в кинетическую. Чем выше значения результирующей скорости движения капель, тем слабее становятся данные эффекты, так как кинетическая энергия в зоне контакта капель и так имеет очень высокие значения.

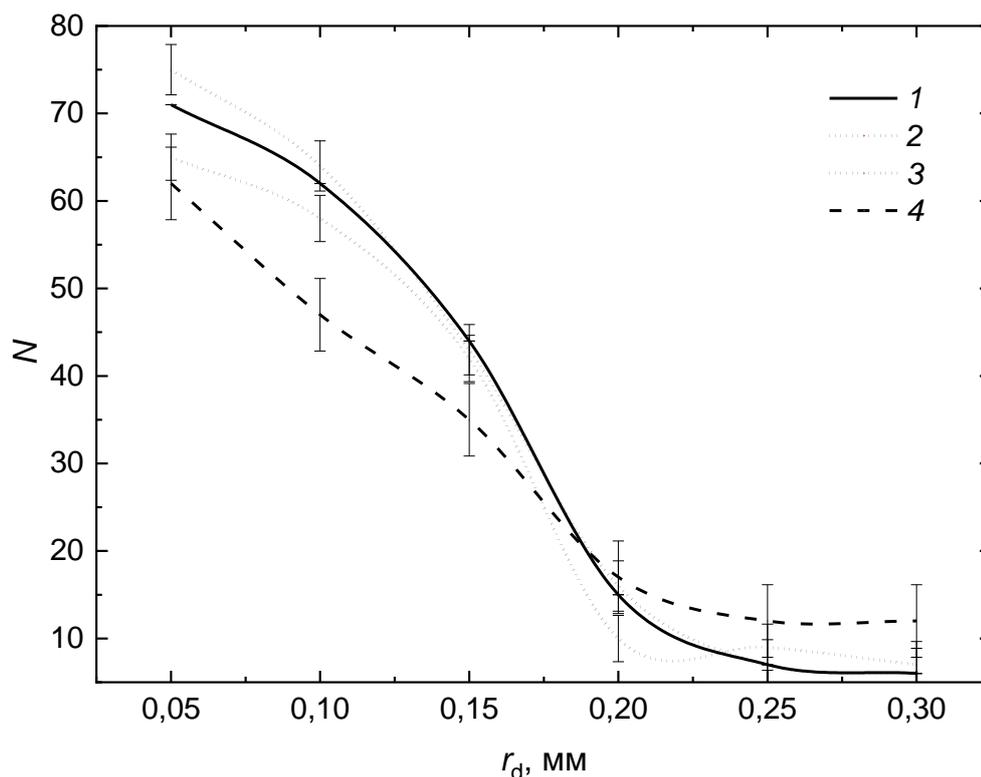


Рисунок 1.7 – Распределения образованных фрагментов жидкости по размерам при $We \approx 150$ и использовании составов с варьируемым поверхностным натяжением: 1 – 0,5 об% Твин 80, 99,5 об% вода; 2 – 0,5 об% Твин 20, 99,5 об% вода; 3 – 0,5 об% Неонол АФ9-12, 99,5 об% вода; 4 – вода

Снижение поверхностного натяжения жидкости вызывает несколько изменений в системе “жидкость–газовая среда”. Первое это то что, при понижении поверхностного натяжения силы сдерживающие слои возле поверхности уменьшаются. Из-за этого слои принимают волнообразную структуру и набирают воздух из окружающей среды. Следствием этого становится более интенсивное дробление при столкновении с другой каплей. Также из-за уменьшения поверхностного натяжения существенно трансформируется форма капли относительно сферической. Увеличивается принятие формы эллипсоидов, блинов или жидких дисков. Из-за увеличения площади поверхности и, следовательно, сопротивления, капли неустойчивы при движении в газовой среде, и для их разрушения достаточны относительно небольшие аэродинамические силы. Они начинают дробиться до соударения с другой каплей, а при столкновении увеличивается степень измельчения

жидкостных фрагментов. Снижение поверхностного натяжения способствует росту размеров трансформирующихся капель жидкости и длительности деформации.

Из представленных результатов можно сделать вывод что при снижении поверхностного натяжения позволяет снизить скорости движения необходимые для дробления капель и увеличить степень измельчения жидкости после столкновения ее фрагментов.

1.2 Соударение капель воды с разной начальной температурой

При проведении экспериментов для определения влияния температуры воды на режимы взаимодействия и ее дробления использовался стенд, аналогичный представленному на рисунке 1.1. Главным его отличием являлось замена одного из капилляров на медный для нагрева жидкости. Нагрев осуществлялся при помощи газовой горелки мощностью 1,1 кВт. Ее использование позволило довести состояние воды до кипения. Однако при движении в окружающей среде до столкновения температура капель падала на 8–12 °С. С учетом этого фактора выбиралось место установки видеокамеры и регистрировались средние температуры капель перед соударениями, которые составляли около 90 °С. Капли, генерируемые вторым капилляром, имели температуру около 20 °С. Для формирования капельного потока также использовались металлические сопла, установленные в дисковом держателе. Расчет параметров удара проводился аналогично представленному на рис. 1.2.

Для приближения условий столкновения к реальным условиям в теплообменных аппаратах размер капель находился в диапазоне 0,6–2 мм, скорость их движения от 0,1 до 5 м/с. Свойства воды принимались в соответствии с данными [45,46]: при температуре 20 °С ($\rho=998$ кг/м³; $\sigma=0.07269$ Н/м; $\mu=0.0014$ Па·с) и температуре 90 °С ($\rho=958$ кг/м³; $\sigma=0.0613$ Н/м; $\mu=0.000237$ Па·с). Основным интерес представляло изучение двух вариантов: обе капли имеют температуру 20 °С; капли имеют разные температуры (20 °С и 90 °С).

Результаты обработки видеок кадров и построенные карты режимов столкновения капель с разной начальной температурой в системе $B(We)$ представлены на рисунке 1.8. Увеличение температуры воды приводит к снижению поверхностного натяжения. Это приводит к смещению границ разделов режимов. На рис. 1.8 заметно увеличение области отскока. Причиной этого является интенсивное испарение капель с температурой $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из-за низкой скоростью движения, число Вебера менее 15, паровой слой остается вокруг капель и тормозит их при приближении друг к другу. Это приводит к еще большему снижению числа Вебера непосредственно перед контактом и отскоку капель. Еще одной причиной отскока может являться отношение размеров капель. Отскок происходит при меньшем размере капли с температурой $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. За счет снижения поверхностного натяжения происходит трансформация такой капли. Так как у капли с температурой $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ поверхностное натяжение, вязкость и плотность выше, то она отталкивает каплю при температуре $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, вследствие чего и происходит отскок.

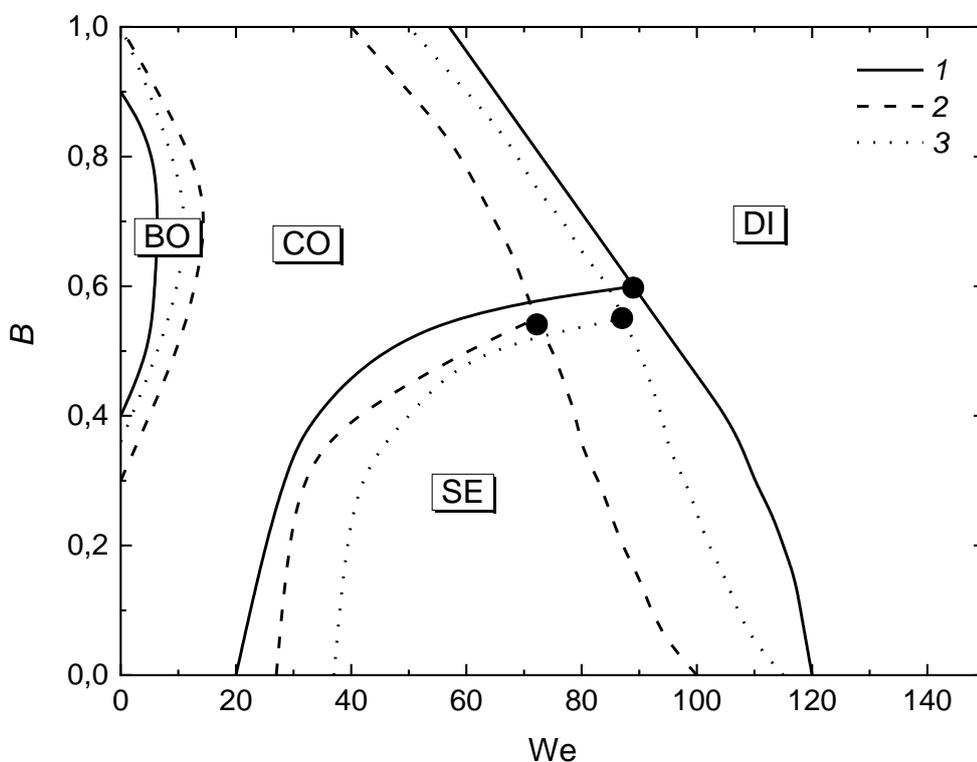


Рисунок 1.8 – Карты режимов взаимодействия капель воды: 1 – $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $90\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – результаты из опытов с $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, при расчёте числа Вебера использованы свойства воды при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Критические значения чисел Вебера для режима дробления снижаются на 20–30 % для капель с температурой 90 °С относительно капель при температуре 20 °С. Это связано со снижением поверхностного натяжения при росте температуры жидкости и высокой относительной скоростью движения капель. За счет уменьшения критического значения числа Вебера для режима дробления и его увеличения для отскока диапазоны по We для границ режима коагуляции уменьшаются на 30–50 %. Но при снижении линейного параметра взаимодействия относительно значения 0.5 реализуется режим разлета. Диапазон по We для капли с меньшей температурой больше на 5–20 % относительно границы капель при 90 °С. Тем самым граница перехода к коагуляции расширяется на 5–15 % по значению We .

Эффективности измельчения капель оценивалась с помощью расчета отношения площади свободной поверхности после и до взаимодействия капель. Полученные результаты представлены на рисунке 1.9. Отношение площадей поверхности капель при температуре около 90 °С выше на 3–10 % в сравнении со столкновением капель температурой $T \approx 20$ °С во всем диапазоне изменения числа Вебера. Минимальное расхождение отношения площадей свободной поверхности жидкости зарегистрировано при значении числа Вебера около 200. Оно составляет не больше 3–5 %.

Испарение горячей капли оказывает влияние на характеристики образующихся вторичных капель только при малых значениях числа $We \approx 30–50$. Скорость при таких условиях мала, а за счет испарения снижается еще сильнее. При значениях числа Вебера выше 70 скорость движения более 1 м/с. Пар на поверхности капли не оказывает существенного влияния на ее скорость движения. Влияние данного фактора на критические значения We не превышает 10 %. Время взаимодействия капель при высоких скоростях движения составило 5–45 мс. За такой промежуток времени испарение капли не существенно, ее размер уменьшается не более чем на 6 %. Поэтому можно сделать вывод о том, что испарение не оказывает существенного влияния на образование вторичных капель при числах Вебера больше 70.

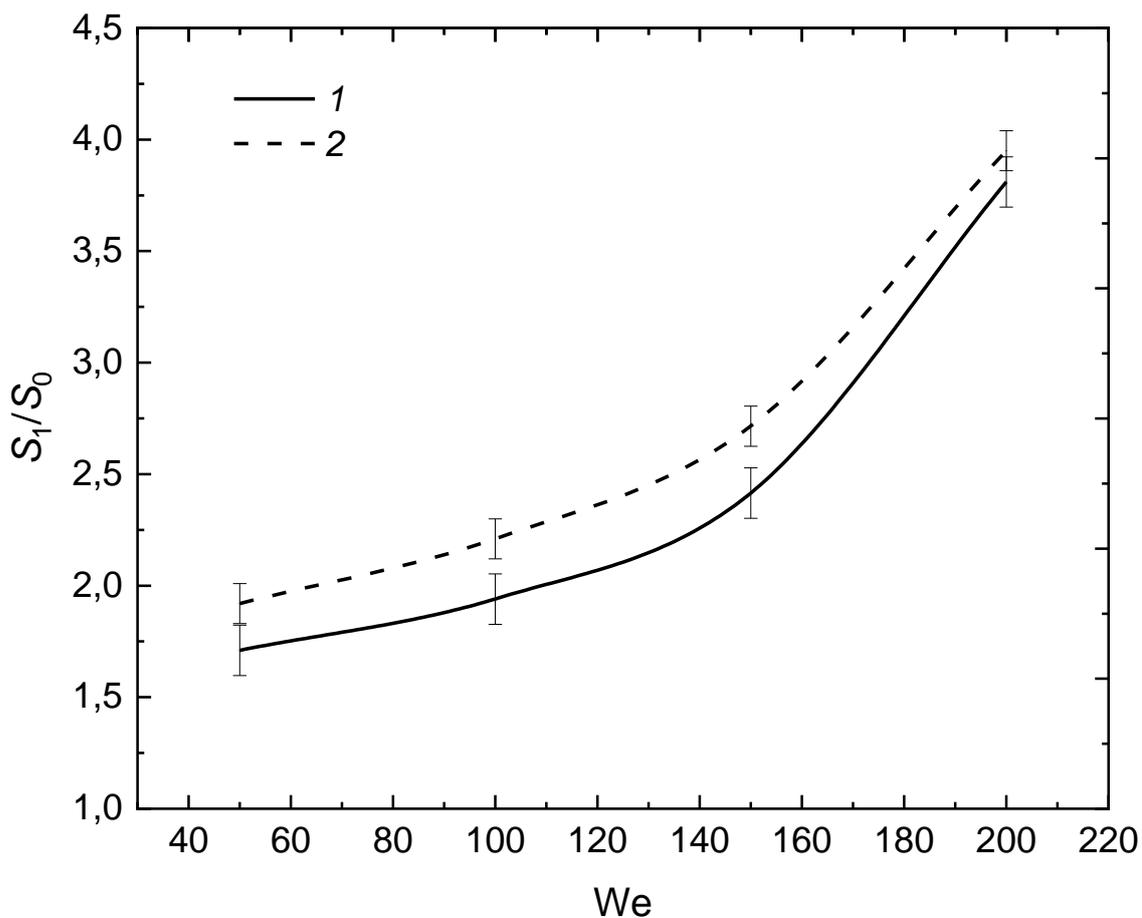


Рисунок 1.9 – Зависимости отношения площадей свободной поверхности после и до взаимодействия капле с разной начальной температурой: 1 – 20 °С; 2 – 90 °С.

По полученным результатам можно сделать вывод, что для формирования мелкодисперсного аэрозоля целесообразно использование жидкости с температурой близкой к кипению. Это позволяет снизить поверхностное натяжение. В таком случае при одинаковых скоростях движения и размерах капле с каплями температурой 20 °С число Вебера увеличивается. Из-за этого происходит сдвиг границы области дробления в сторону меньших значений We. Следствием этого является увеличение количества вторичных капле и увеличение их площади свободной поверхности. Такой эффект представляет большую актуальность для использования в установках термической очистки воды и различного теплообменного оборудования, в котором имеются газопарокапельные потоки.

Анализ результатов показал, что для интенсификации измельчения капель жидкости достаточно нагреть одну из них до температуры, близкой к кипению. Это позволяет реализовать нагрев жидкости только на одном из форсуночных устройств. Отношения площадей поверхности жидкости и размеры вторичных капель будут близки к условиям, когда соударяются две нагретые капли или хотя бы одна из них имеет повышенную температуру. Также возможна реализация измельчения с использованием комбинированных схем, например, при соударениях капель между собой, с нагретыми стенками или воздействию газовой струей. Полученные результаты показывают степень интенсивности измельчения капель при использовании схемы с соударениями при разной начальной температуре.

Результаты данной научно-исследовательской работы опубликованы в издании, индексируемом базами данных Web of Science и Scopus [47]. Также опубликованы результаты более ранних научно-исследовательских работ [48–54] автора данной магистерской диссертации. В [48] представлены результаты экспериментальных исследований столкновения одиночных капель жидкости с температурой 20 и 90 °С в газовых и паровых потоках. Результаты изучения влияния начальной температуры жидкости на исходы столкновений капель опубликованы в [49]. В более ранних работах [50–54] опубликованы результаты экспериментальных исследований распространения тонкораспыленной водоугольной суспензии [50] и светоиндуцированной газификации угольных отходов [51–54].

2 Системный анализ объекта автоматизации

Для восстановления сыпучести смерзшихся грузов используют 2 типа обогревателей: капитальные конструкции по типу гаражного бокса и мобильные системы для локального нагрева.

В капитальных конструкциях используют 3 метода нагрева – конвекцию (конвективные тепляки), инфракрасное излучение (газовые инфракрасные излучатели (ГИИ)) и смешанный тип (конвективный обогрев и инфракрасное излучение). Конвективные тепляки представляют собой гаражные боксы с нагревательным элементом или камерой сгорания с подводом горячих дымовых газов. К основным достоинствам такого типа размораживателей относятся сравнительно высокая скорость разморозки грузов и низкий расход теплоносителя. Однако недостатком является большой расход энергии. Камеры и туннели для размораживания конструктивно выполняют аналогично камерам и туннелям охлаждения. Отличие заключается в оборудовании, предназначенном для тепловлажностной обработки воздуха. Для размораживания применяют также камеры с боковым и нижним воздухораспределением (рис. 2.1).

При всех преимуществах конструкций данного типа, основным их недостатком является их постоянная привязка к одной локации и ограничение максимальной длины нагреваемого объекта в силу конструкционных особенностей.

При использовании мобильной системы разморозки возможно ее использование в ограниченных и труднодоступных местах. Также становится более удобной разморозка мелко- и крупногабаритных грузов.

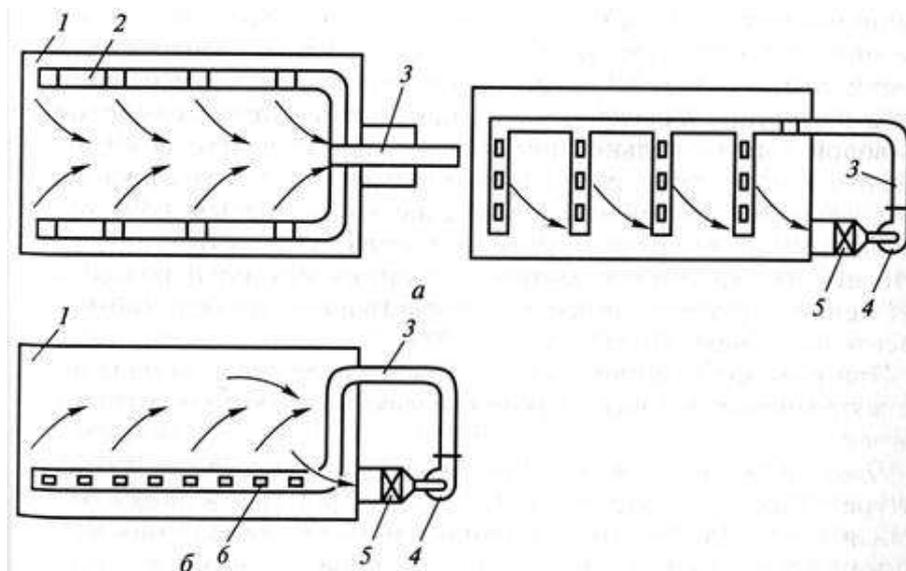


Рисунок 2.1 – Схемы конвективных тепляков с боковым (а) и нижним (б) воздухораспределением:

1 — камера размораживания; 2 — боковой воздухораспределительный канал; 3 — приточный воздуховод; 4 — центробежный вентилятор; 5 — воздухообрабатывающий агрегат; 6 — нижний воздухораспределительный канал

В качестве оборудования для тепловлажностной обработки воздуха при размораживании применяют отдельные устройства для нагрева и увлажнения воздуха, а также единые воздухообрабатывающие агрегаты, предназначенные для централизованной подготовки воздуха. Для нагрева воздуха применяют паровые и водяные воздухонагреватели. Регулирование теплопроизводительности паровых воздухонагревателей не обеспечивает заданной точности поддержания температурного режима размораживания, поэтому предпочтительна установка водяных воздухонагревателей, имеющих не менее двух-трех секций подогрева для более гибкого регулирования температурного режима на различных стадиях размораживания. Также возможно использование обогрева за счет дымовых газов с высокой температурой. Для этого используют газосжигающие циклонные установки. Дымовые газы температурой 200-300 °С разбавляют воздухом из окружающей

среды до температуры 100 °С в камерах смешения. Газовую смесь с получившимися параметрами подают к размораживаемому объекту.

Для увлажнения воздуха применяют форсунки тонкого распыления воды, устанавливаемые непосредственно в камерах размораживания, а также паровые увлажнители, подающие пар в камеру увлажнения воздухообрабатывающего агрегата, приточный воздуховод, воздухораспределительные каналы или в воздушную струю, выходящую из распределительных устройств. При увлажнении воздуха водой применяют пневматические форсунки, осуществляющие тонкое распыление, при котором разбрызгиваемая вода испаряется без остатка. Воду подводят от общей водопроводной магистрали предприятия, а сжатый воздух — от воздушного компрессора. Обычно расход сжатого воздуха одной форсункой составляет $0,97-1,25 \cdot 10^{-3}$ кг/с при избыточном давлении 100–150 кПа. Производительность одной форсунки по воде равна $0,6-1,3 \cdot 10^{-3}$ кг/с и зависит от ее конструкции и диаметра выходного отверстия.

При увлажнении воздуха паром применяют неавтономные паровые увлажнители, выполненные в виде перфорированных трубопроводов и потребляющие пар от паровой магистрали предприятия или парогенератора, и автономные паровые увлажнители, вырабатывающие пар с помощью терморadiационных излучателей (терморadiационные увлажнители). Во избежание попадания конденсата в зону размещения продукта паропроводы прокладывают с уклоном 0,005 в сторону, противоположную движению пара. В качестве воздухообрабатывающих агрегатов применяют неавтономные секционные, автономные шкафные и также агрегатные кондиционеры.

Аппараты оросительного типа могут быть с горизонтальным и вертикальным расположением транспортеров для перемещения сырья или продукта. В первом случае горизонтально расположенные транспортеры имеют небольшой наклон в сторону, противоположную перемещению продукта или сырья. Это создает противоточное движение пленки стекающей воды и способствует интенсификации процесса. В аппаратах оросительного типа с

вертикальным расположением транспортера он выполнен зигзагообразно, продукт движется снизу вверх, а разбрызгиваемая вода – сверху вниз. В некоторых устройствах орошение водой сопровождается обдувом размораживаемых продуктов или сырья воздушным потоком.

Аппараты оросительного типа характеризуются наибольшей скоростью размораживания, но отличаются значительным расходом воды.

Основные измеряемые и регулируемые параметры камеры для размораживания приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Основные измеряемые и регулируемые параметры камеры для размораживания

Параметр	Номинальное значение
Расход дымовых газов, м ³ /с	2–100·10 ⁻³
Избыточное давление дымовых газов, кПа	100–150
Расход воздуха в камере сжигания, м ³ /с	2,8·10 ⁻³
Температура в камере смешения ДГ и воздуха, °С	120
Избыточное давление в подающем газопроводе за камерой смешения, кПа	150
Расход твердого наполнителя, кг/с	0,05–20
Расход орошающей воды, м ³ /с	0,28–28·10 ⁻³
Расход ПАВ, м ³ /с	0,0028–2,8·10 ⁻⁴
Температура орошающей воды, °С	5–60
Температура в камере (несколько ТЭП или ТПС), °С	-50–150
Относительная влажность в камере, %	20–100
Положение клапана РО1, %	0–100
Положение клапана РО2, %	0–100
Положение клапана РО3, %	0–100
Положение клапана РО4, %	0–100
Положение клапана РО5, %	0–100
Положение клапана РО6, %	0–100

2.1 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления

2.1.1. Структурная схема АСУ

Структурные схемы отражают взаимодействие устройств, блоков, узлов и элементов автоматики в процессе их работы. Графически отдельные устройства автоматики изображают прямоугольниками, соответствующими направлению прохождения сигнала. Внутреннее содержание каждого блока не конкретизируют. Функциональное назначение блоков обозначают буквенными символами.

Разработана структурная схема автоматизированной системы управления подготовкой газопарокапельной смеси, представленная на ФЮРА.421000.009 С1 и рисунке 2.2.

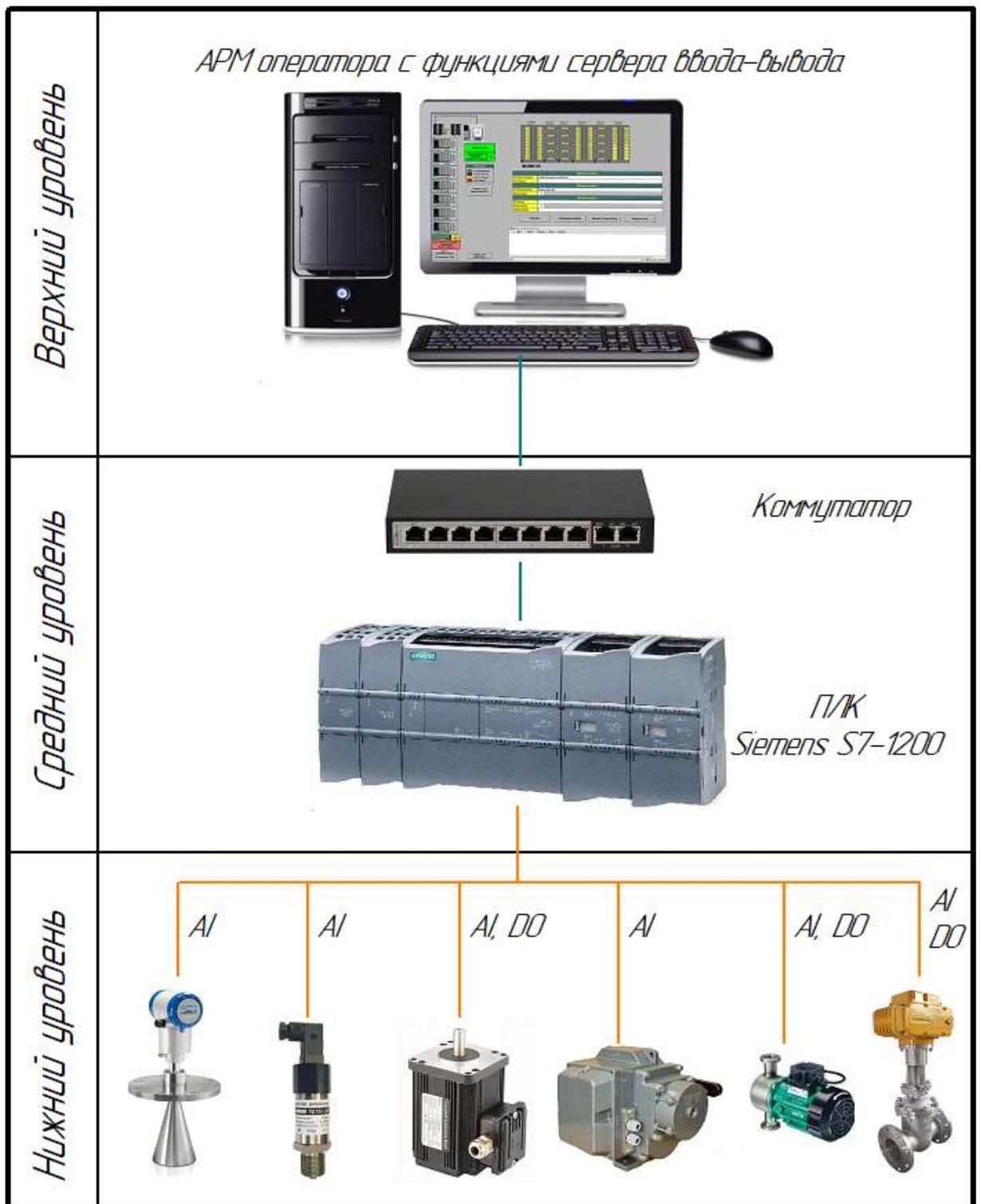


Рисунок 2.2 – Структурная схема АСУ подготовкой газопарокапельной смеси

2.1.2. Структурная схема измерительных каналов

Измерительный канал расхода газов состоит из дифференциального манометра, преобразователя, установленного по месту, и ПЛК. Сигнал на ПЛК 4-20 мА поступает по цепи питания устройства измерения расхода. Структурная схема канала измерения расхода дымовых газов представлена на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Структурная схема канала измерения расхода ДГ

Измерительные каналы расхода жидких и твердых веществ, температуры, уровня выполнены с подключением по двухпроводной схеме. Выходной сигнал с датчиков передается в ПЛК по каналам питания датчиков. Такая схема подключения позволяет упростить прокладку соединительных проводов и замену датчиков при сохранении в допустимых пределах погрешности измерения. Структурные схемы каналов измерения, выполненных по двухпроводной схеме, представлены на рис. 2.4.

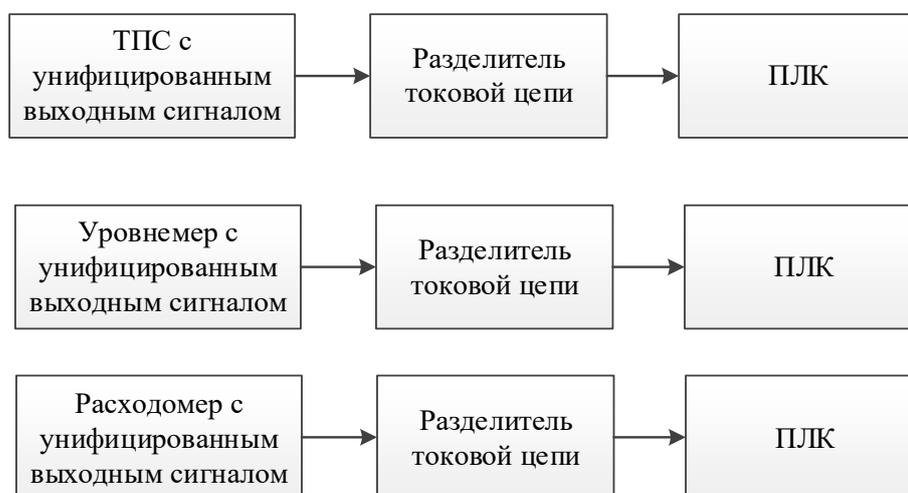


Рисунок 2.4 – Структурная схема каналов измерения

В случае, когда измерительный канал состоит из нескольких измерительных приборов, соединенных последовательно, погрешность канала будет определяться среднеквадратическим отклонением погрешностей компонентов измерительного канала для нормального закона распределения случайных составляющих погрешности в % от нормирующего значения определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2},$$

где σ – среднеквадратическое отклонение погрешностей компонентов измерительного канала, Y_i – пределы основной приведенной погрешности соответствующего прибора, n – количество приборов.

На полевом уровне, непосредственно в рабочей среде установки, располагаются контрольно-измерительные приборы (датчики уровня, расхода, давления, температуры) и исполнительные механизмы для управления регулировочными клапанами и задвижками. Уровень выходного сигнала датчиков выполнены в стандарте 4-20 мА. Автоматизированная система управления климатической установкой стоит на базе современных микропроцессорной техники. Информация с которых поступает на АРМ оператора по сети Ethernet. Также на верхнем уровне организовано хранение информации на АРМ оператора с функциями сервера ввода-вывода. Структурная схема АСУ подготовкой газопарокапельной смеси приведена на

2.2 Разработка функциональной схемы системы управления

Функциональная схема систем измерения и автоматизации является основным техническим документом и определяет функционально – блочную структуру узлов регулирования, контроля и управления технологическим процессом. При разработке функциональной схемы автоматизации и выборе технических средств должны быть учтены особенности технологического процесса, параметры и свойства технологических сред, требуемую точность и быстродействие системы.

На функциональной схеме упрощенно изображаются линии связи, приборы и средства автоматизации условными обозначениями по действующим государственным стандартам.

В процессе разработки функциональной схемы необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить технологическую схему автоматизируемого объекта;
- 2) составить перечень контролируемых параметров технологического процесса и технологического оборудования;
- 3) определить местоположение точек отбора информации;
- 4) определить максимальные и минимальные значения контролируемых параметров;
- 5) выбрать структуру измерительных каналов;
- 6) выбрать методы и технические средства получения, обработки, передачи и представления информации;
- 7) обеспечение контроля технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования, их регистрация;
- 8) обеспечение получения первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- 9) обеспечение стабилизации технологических параметров процесса;
- 10) решить вопросы размещения технических средств автоматизации на технологическом оборудовании, трубопроводах, по месту и на щитах.

В процессе разработки функциональной схемы, опираясь на структурную схему, была изучена технологическая схема автоматизируемого объекта и определены точки отбора измерительной информации – температуры, расхода, уровня.

Разработанная функциональная схема автоматизированной системы подготовки газопарокапельной смеси представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.009 С2.

На первом этапе разработки функциональной схемы определены измерительные каналы и каналы управления. Сигнал о величине расхода основной жидкости (воды) в камеру смешения и климатическую камеру поступают в контроллер по каналам 14 и 15, расход добавок к воде измеряется по каналам 12 и 13. Контроль однородности жидкости в камере смешения осуществляется по равенству температуры в нижней и верхней частях камеры смешения, величина которой передается по каналам 1 и 2. Уровень жидкости в камере смешения передается в ПЛК по каналу 18. Расход дымовых газов передается в ПЛК по каналу 17, регулирование расхода осуществляется изменением положения шибера (канал 31). Значение температуры в климатической камере поступает по каналам 4 и 5 от ТПС, установленных в ее разных частях. Схема предполагает несколько способов управления исполнительным механизмом, а именно: местное управление от штурвала, дистанционное управление через промышленный компьютер и основной автоматический режим управления от контроллера.

На втором этапе разрабатывалась нижняя часть функциональной схемы. В этой части изображались приборы, установленные по месту и щит управления. В щите управления установлен контроллер.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403-80, условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785-70, первичные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.408-2013.

2.3 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации

При разработке АСУ подготовкой газопарокапельной смеси предпочтение отдавалось серийно выпускаемым отечественным техническим средствам автоматизации. При этом учитывались такие параметры как взаимозаменяемость, сочетаемость приборов, наличие унифицированных сигналов и легкость компоновки на щитовых конструкциях. С целью упрощения компоновки в щитах и удобного сочетания друг с другом предпочтение отдавалось унифицированным системам и однотипным техническим средствам.

При выборе первичных измерительных преобразователей следует учитывать предельные значения измеряемых параметров, в диапазоне которых можно применять различные первичные измерительные преобразователи, а также характеристики выходных сигналов первичных измерительных преобразователей. Для упрощения работы оперативного и обслуживающего персонала и унификации применяемого оборудования для более быстрого и качественного технического обслуживания и ремонта, следует ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций.

2.3.1 Выбор датчиков температуры

В разрабатываемой автоматизированной системе управления подготовкой газопарокапельной смеси регистрируется температура в камере смешенияготавливаемой жидкости, климатической камере и поверхностном теплообменнике используются термопреобразователи сопротивления, выполненные в вибропрочном сейсмостойком исполнении (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Характеристики датчиков температуры [55-57]

Характеристика	Термопара	Термопреобразователи сопротивления	Термистор
Диапазон измеряемых температур, °С	- 200...2500	- 50...500	- 50...180
Характеристика	Нелинейная	Близкая к линейной	Нелинейная
Цена, руб.	~ 2000	~ 600	~ 100
Взаимозаменяемость	Да	Да	Нет

В качестве датчика температуры наиболее предпочтительным в проектируемой системе будет являться термопреобразователь сопротивления, т.к. датчику температуры в данной системе не будет требоваться измерение низких (ниже 0 °С) и высоких (свыше 150 °С) температур.

Термопреобразователи сопротивления обладают рядом преимуществ:

- 1) имеют высокую точность измерений, которая может достигать в некоторых случаях до 0,013 °С;
- 2) при использовании трехпроводной и четырехпроводной схем подключения исключается влияние изменения сопротивлений линий связи на результат измерения;
- 3) имеют практически линейную характеристику зависимости температуры от сопротивления.

Рассмотрим термопреобразователи сопротивления фирм «Метран» и «Элемер» для измерения температур дымовых газов и воздуха. Данные компании предлагают широкую линейку средств для измерения температуры как с унифицированными, так и с естественными выходными сигналами.

1. Термопреобразователи сопротивления компании «Элемер»

Термопреобразователи предназначены для преобразования значения температуры различных, в том числе агрессивных, сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА. Данные термопреобразователи выполнены в климатическом исполнении от -40 до 120 °С [55].

Таблица 2.3 – Диапазон измеряемых температур термопреобразователей сопротивления фирмы «Элемер»

Тип термопреобразователя	Диапазон температур, °С	Цена
ТС-1088ВС (100М)	от -180 до 200 °С	1340
ТС-1388ВС (100П)	от -196 до 600 °С	5700

2. Термопреобразователи сопротивления компании «Метран»

Термопреобразователи сопротивления с медными и платиновыми чувствительными элементами серии Метран-2000 предназначены для измерения температуры жидких, газообразных, сыпучих сред в различных отраслях промышленности. Изготавливаются в климатическом исполнении для работы при температурах от -50 до 70 °С [56].

Таблица 2.4 – Технические характеристики датчиков температуры

Тип датчика	ТСП 1107	ТСМ 1107
Диапазон измеряемых температур, °С	- 200...600	- 50...180
НСХ	50П; 100П	50М; 100М
Цена	6520	1650
Степень защиты от пыли и воды	IP55	

Выбираем датчики температуры компании Элемер так как при идентичных характеристиках они имеют меньшую цену.

2.3.2 Выбор преобразователя давления

Датчики давления предназначены для непрерывного преобразования абсолютного давления, дифференциального давления, избыточного давления, избыточного давления-разряжения и разности давлений в унифицированный токовый сигнал или цифровой сигнал в стандарте протокола HART. По

принципу преобразования давления в электрический сигнал датчики давления делятся на:

- 1) тензометрические;
- 2) пьезометрические;
- 3) емкостные;
- 4) резонансные;
- 5) индуктивные;
- 6) ионизационные;
- 7) пьезоэлектрические.

Принцип преобразования давления в электрический сигнал влияет на пределы измерения, динамические и частотные диапазоны, точность и условия эксплуатации.

Рассмотрим три преобразователя давления Элемер-100 ДИ, ПД250-ДИ Метран-150.

Датчики давления ПД200-ДИ представляют собой преобразователи давления с измерительной мембраной из нержавеющей стали. Данные датчики обладают повышенной точностью измерения (от $\pm 0,5$ % верхнего предела измерения), устойчивостью к гидроударам и низким выходным шумом значение которого составляет не более ± 16 мкА.

Основные технические характеристики общепромышленного преобразователя Элемер-100 ДИ:

- 1) верхний предел измеряемого давления (ВПИ) – от 0,063 кПа до 250 кПа;
- 2) преобразование давления в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА;
- 3) измерение избыточного давления нейтральных к нержавеющей стали AISI 316L сред (газы, пар, вода, слабоагрессивные жидкости);
- 4) перегрузочная способность не менее – 200 % ВПИ;
- 5) степень защиты корпуса и электроразъема преобразователя – IP65.

Датчики давления серии Метран-150 предназначены для непрерывного преобразования значения давления в унифицированный токовый выходной сигнал или цифровой сигнал в стандарте HART протокола. Управление параметрами датчика может осуществляться при помощи HART-коммуникатора, удаленно с помощью программы HART-Master, HART-модема и компьютера или программных средств АСУ ТП, локального интерфейса оператора или удаленно с помощью AMS. Среди преимуществ датчика Метран-150 можно выделить высокую перегрузочную способность, защиту от переходных процессов и функцию непрерывной самодиагностики. Интервал между поверками составляет 5 лет.

Основные технические характеристики датчика избыточного давления Метран-150:

- 1) выходной сигнал – 4...20 мА или HART 0...5 мА;
- 2) максимальное давление – 1 МПа;
- 3) давление перегрузки – 10 МПа;
- 4) температура окружающей среды – от -40 до 85 °С;
- 5) температура измеряемой среды – от -40 до 120 °С.

Таблица 2.5 – Технические характеристики датчиков давления [58-60]

Наименование датчика	Метран-150 АС ТГ	ПД200-ДИ	Элемер-100 ДИ
Назначение	измерение избыточного давления	измерение избыточного давления	измерение избыточного давления
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40...+85	-20 ...+70	-50 ...+80
Диапазон температур рабочей среды, °С	-40...+120	-40...+100	-40...+110
Диапазон измерения, МПа	0,097–13,8	0,00063–6,0	0,066–0,107
Защита от пыли и влаги	IP66	IP65	IP65
Выходной сигнал	4..20 мА HART-протокол	4..20 мА HART-протокол	4..20 мА
Стоимость, руб.	32000	36000	28500

Все преобразователя давления имеют характеристики, удовлетворяющие техническим требованиям. Исходя из этого, выбираем датчик Элемер-100 ДИ, так как он имеет меньшую стоимость.

2.3.3 Выбор технических средств измерения расхода

Необходимо учитывать особенности измеряемых сред при выборе расходомеров.

Для измерения расхода дымовых газов применяют датчики дифференциального давления. Технические характеристики наиболее распространенных датчиков дифференциального давления приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Технические характеристики датчиков дифференциального давления [61-63]

Наименование датчика	Элемер-100 ДД	Метран-350SFA	Rosemount 3051
Диапазон измерений	0,063 кПа...16 МПа;	до 25 МПа	до 25 МПа
Выходные сигналы	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; HART; Modbus RTU	4-20 мА; HART	4-20 мА; HART
Цена	29000	37600	65300

Расходомеры Элемер-100 ДД предназначены для измерения расхода жидкости, газа, пара в технологических процессах различных отраслей промышленности, а также в системах технологического и коммерческого учета. Он обладает наименьшей погрешностью среди представленных моделей.

При измерении расхода жидкости нужно учитывать, что она является веществом с изменяемой вязкостью, добавление нерастворенных частиц делает ее сильно неоднородной, а также приводит к быстрому износу оборудования. Поэтому используем электромагнитный расходомер, не вступающий непосредственно в контакт с измеряемой средой.

Индукционные (электромагнитные) расходомеры серии FLONET предназначены для измерения объемного расхода негорючих электропроводящих жидкостей в закрытых трубопроводах, в системах теплоснабжения, пищевой и химической индустрии. Индукционный расходомер оснащен частотным, импульсным и токовым выходами, а также интерфейсом RS-485 с коммуникационным протоколом обмена FLONET. Расходомеры FLONET специального исполнения успешно работают в сложных условиях с химически агрессивной средой, с жидкостями высокой температуры и содержащими абразив.

Электромагнитный расходомер–счетчик ЭМИС–МАГ 270 предназначен для постоянного измерения объема и расхода агрессивных жидкостей, щелочей, кислот и воды, а также для операций, связанных с их учетом и контролем. Электромагнитный расходомер от производителя ЭМИС пригоден для эксплуатации в промышленных, коммунально-бытовых, общественных объектах, а также в АСУ.

Расходомеры электромагнитные Метран-370 предназначены для измерения объемного расхода электропроводных жидкостей, пульп, эмульсий и т.п. Позволяют проводить измерение расхода агрессивных сред, имеют высокую точность измерений, отсутствуют подвижные части, имеют малые потери давления. Технические характеристики расходомеров представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики расходомеров [64-66]

Наименование расходомера	Элемер FLONET FS20XX.1	ЭМИС-МАГ 270	Метран-370
Давление	До 4 МПа	До 32 МПа	До 0,1 МПа
Расход	До 614 м ³ /ч	До 283 м ³ /ч	До 270 м ³ /ч
Цена	15620	19800	34700

Проведя анализ технических характеристик преобразователей расхода делаем вывод о том, что расходомер фирмы Элемер типа FLONET FS20XX.1

подходит для нашей системы по диапазону рабочих температур и классу точности, также он имеет наименьшую цену среди аналогов.

2.3.4 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства предлагается использовать контроллер для автоматизации локальных систем. В данной работе рассматривались 4 контроллера от разных производителей: ОВЕН, ВЭСТ, Segnetics, Siemens. В таблице 2.8 приведены реализуемые функции контроллеров.

Таблица 2.8 – Сравнение функций контроллеров [67-70]

Наименование контроллера Функции	ВЭСТ-02	ECL Comfort 300	ПЛК63	SIMATIC-S7-1200
Ручное управление регулирующими клапанами	+	+	+	+
Ручное управление циркуляционным насосом	-	+	+	+
Температурная часовая компенсация	+	+	+	+
Автоматический переход на летнее время	-	+	+	+
Сохранение параметров настройки	+	+	+	+
Ограничение доступа посторонних лиц к изменению настройки	+	+	+	+
Архивация данных в энергонезависимой памяти регулятора	+	+	-	+
ЖК-дисплей	+	+	+	+
ПО для ПК (в комплекте)	+	-	+	+
ЦЕНА, руб.	17000	74000	16800	155600

Для реализации системы управления климатической установкой выбран контроллер SIMATIC S7-1200, т.к. он обладает достаточным функционалом, а также содержит среду разработки прикладного ПО контроллера, способную поддерживать различные интерфейсы и типы сигналов.

При работе в составе системы контроллер работает в соответствии с запрограммированным сценарием. В случае типовых сценариев контроллер

контролирует значения технологических параметров, получая данные с подключенных к нему датчиков, и вырабатывает, в соответствии с заложенными алгоритмами (описаны в разделе математическое обеспечение), управляющие воздействия для подключенных к нему исполнительных устройств.

Контроллер может обмениваться данными с периферийными устройствами по сети RS-485, а также имеет возможность подключения до 32 модулей дискретных и аналоговых входных и выходных сигналов.

2.3.5 Выбор исполнительного механизма

Однооборотные электроприводы МЭО используются для передачи крутящего момента арматуре при ее повороте на один оборот или менее. Механизмы МЭО предназначены для приведения в действие запорно-регулирующей арматуры в системах автоматического регулирования технологическими процессами, в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств. Механизмы МЭО исполняют функции автоматического, дистанционного или местного открытия и закрытия арматуры, указания степени открытия арматуры на шкале местного указателя, позиционирование рабочего органа арматуры в любом промежуточном положении, формируют дискретные сигналы о промежуточных и конечных положениях рабочего органа арматуры. Цифровые сигналы состояния моментных выключателей открытия и закрытия, сигнал крутящего момента и цифровые сигналы состояния концевых и путевых выключателей передаются по интерфейсу RS-485 [71]. Электроприводы МЭО могут работать в экстремальных условиях: при повышенных температурах, запыленности и сильной вибрации. Для твердых частиц и воды после камеры смешения используется трубопровод диаметром $D_y=80$ мм, для добавок для приготовления смеси $D_y=20$ мм. Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле:

$$M_{\max 1} = Q_{y1} \cdot D_{y1} - 338 = 6,89 \cdot 80 - 338 = 213 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\max 2} = Q_{y2} \cdot D_{y2} - 124 = 5,67 \cdot 20 - 124 = 14,8 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где Q_y – усилие на маховике задвижки, Н; D_y – условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось условие:

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

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

Выбираем ИМ типа МЭО-250/25-0,25-Р-99 и МЭО-16/25-0,25-Р-93.

Данный исполнительный механизм снабжен датчиком положения выходного вала и функцией ручного управления. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети переменного тока 220 В. Потребляемая мощность 240 Вт и 46 Вт.

2.3.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В качестве блока управления используем блоки БУЭР. Блоки управления электродвигателями реверсивные - БУЭР предназначены для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ) типа МЭО-6,3...МЭО-4000, МЭОФ-1,6... МЭОФ-4000, МЭМ-6,3..., МЭМ-160, МЭПК-200..., МЭП-25000) с однофазным (БУЭР 1) или трехфазным (БУЭР 3) электродвигателями [72].

Новые блоки управления типа БУЭР, разработанные и выпускаемые ЗАО «Волмаг» являются аналогами известных пускателей для исполнительных механизмов МЭО типа ПБР и ФЦ, разработанных ОАО «СКБ СПА» (г. Чебоксары) более 20 лет назад.

Используем блок БУЭР 1-30-02. Он выполняет управление электрическим исполнительным механизмом (ЭИМ) с однофазным электродвигателем по командам, получаемым по резервированному цифровому каналу.

Функции блока управления:

- 1) управление электродвигателем (пуск, реверс, остановка);

- 2) самодиагностика;
- 3) диагностика ЭИМ;
- 4) защита силовых ключей от короткого замыкания;
- 5) защита от перегрузки по току.

Выбранные технические средства автоматизации, описанные в данном разделе, представлены в заказной спецификации ФЮРА.421000.009 ЗС.

3 Разработка щита управления

3.1 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, предназначенные для контроля и осуществления в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. На схеме допускается изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям [73]. Принципиальные схемы имеют код Э4.

Принципиальные схемы служат основанием для разработки других документов проекта (монтажных таблиц щитов и пультов, схем внешних соединений и др.). На такой схеме изображаются все элементы информационно-измерительной системы, находящиеся в щите, а также принцип их взаимодействия между собой.

Принципиальная электрическая схема автоматизированной системы управления подготовкой газопарокапельной смеси представлена на листе ФЮРА.421000.009 Э3.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений. Расположение графического материала выбираем таким образом, чтобы чтение этого чертежа было легким. Для сокращенной записи сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81 «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах». Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

При разработке принципиальной электрической схемы выполняем нанесение на схему технических средств автоматизации в соответствии со стандартами, производим соединение проводок с клеммами устройств по требованиям заводов изготовителей оборудования [55-72].

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений.

Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева направо. В данной схеме для цепей питания используется группа чисел 1–99, для цепей управления, регулирования и измерения 100–199 и кодовое обозначение входных и выходных сигналов.

3.2 Проектирование схемы внешних проводок

Схемы внешних проводок проектируют с целью выполнения различных видов коммутации элементов систем автоматизации в пределах щитов и пультов. К монтажной документации щитов относят схемы электрических соединений щитов.

В данной работе необходимо разработать схему внешних проводок автоматизированной системы управления климатической установки.

Схема должна содержать:

- 1) условные графические обозначения (УГО) первичных преобразователей, расположенных вне щита;
- 2) УГО внешних электрических и трубных проводок;
- 3) УГО щита автоматизации;
- 4) таблицу с поясняющими надписями.

На схеме внешних проводок сверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

Исполнительные механизмы изображены монтажными символами [73]. Внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним соответствующих жил кабелей. Изображены только клеммы, которые используются для решения данной задачи. Маркировки жил указаны вне монтажных символов.

Щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в нижней части чертежа, в нем показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним провода и жилы кабелей.

Конечной целью проектирования электрических проводок является создание монтажной документации, необходимой для прокладки, коммутации жил к техническим средствам автоматизации, а также для проверки и ввода в эксплуатацию проводок.

Для линий питания выбираются кабели с алюминиевыми жилами сечением 2,5 мм² типа АКРВБГ, которые имеют броню из двух стальных оцинкованных лент, а также оболочку из резины, не распространяющей горение. Такой кабель предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств с номинальным переменным напряжением до 660 В и частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1000 В [66], что полностью удовлетворяет необходимым требованиям, так как система питается от сети 220 В. Применяются такие кабели для прокладки на открытом воздухе, в помещениях, каналах, туннелях, если кабели не подвергаются значительным растягивающим усилиям и при наличии опасности механических воздействий на кабели. Не распространяют горение при одиночной прокладке (нормы ГОСТ 12176-89). Стойки к монтажным изгибам.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСУ

№ линии	Марка	Число жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
25, 26, n-1	АКРВБГ	4	2,5	15,51
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 23, n-2, n-3, n-4	КРВГ	4	1	10,54
19, 20, 29, 30, n-6	КРВБГ	14	1	12,39
27, 28	КРВБГ	24	1	23,25
22, 24, n-5, n-7	КИПЭВ	2	0,6	9,22

Для защиты кабелей применять защитные трубы нецелесообразно, так как помещения, в которых проложены кабели не являются жаркими, пыльными, а также температура в них не опускается до низких значений.

Схема внешних проводок проектируемой АСУ представлена на чертеже ФЮРА.421000.009 С4.

3.3 Разработка сборочного чертежа щита управления

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

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации. Учитывая конструктивные особенности, а также степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы управления климатом, выберем щит Rittal ES 5884.500.

Щиты Rittal предназначены для размещения аппаратуры управления, сигнализации и автоматики.

Конструкция щитов представляет собой металлический сборный корпус навесного исполнения. Подвод кабелей осуществляется снизу. Степень защиты щитов: IP43.

Сборочный чертеж щита представлен на чертеж ФЮРА.421000.009 СБ. Общий вид щита представлен на чертеж ФЮРА.421000.009 ОБ.

4 Расчет параметров настройки регулятора

4.1 Идентификация объекта управления

Под идентификацией систем понимается совокупность методов предназначенных для построения математических моделей динамической системы по данным наблюдений. Математическая модель в данном случае означает математическое описание поведения какой-либо системы или процесса во временной области. Существует активная и пассивная идентификации. В случае активной – объект исследования выводится из равновесного состояния путем подачи на его входы специальных сигналов.

К активной идентификации прибегают при разработке новых технологий на действующих промышленных объектах. Пассивная идентификация применяется для уточнения математической модели.

В данной работе для получения кривой разгона использована динамическая модель изменения температуры в сушильной камере. График кривой разгона представлен на рисунке 4.1.

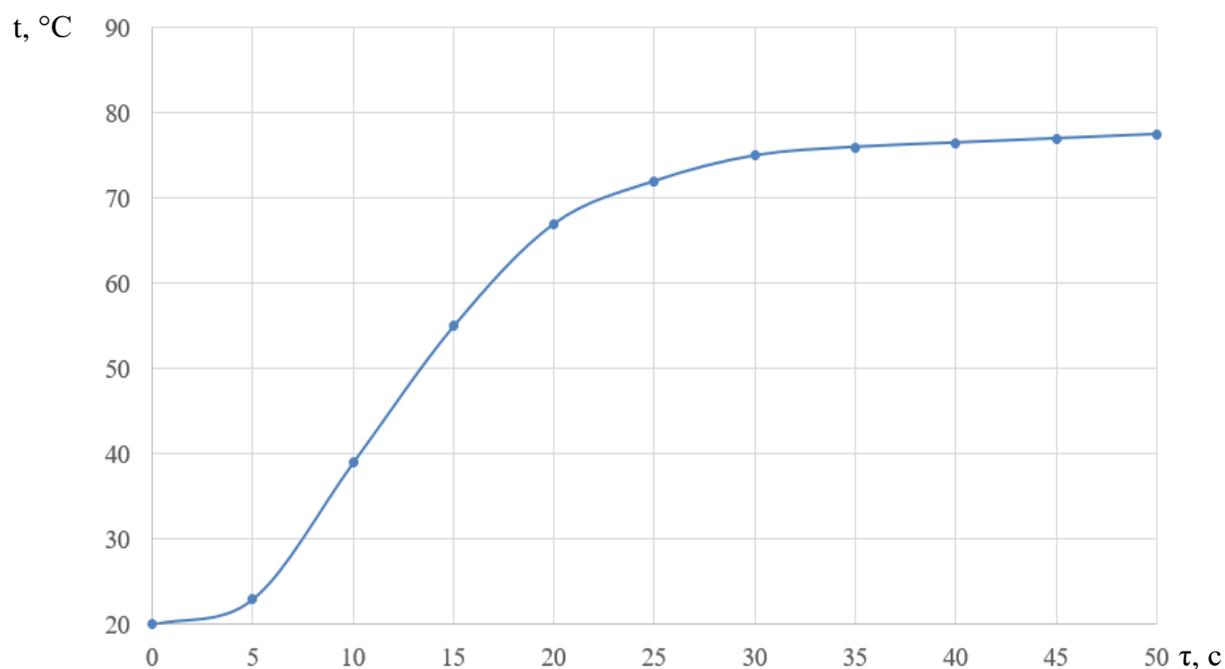


Рисунок 4.1 – Кривая разгона объекта управления

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

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (4.1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения 4.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (4.2)$$

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

Коэффициент усиления $k = \frac{h(T_y)}{A}$, где A – выходное воздействие; при единичном воздействии $k = h(T_y)$. Время чистого запаздывания заранее выделяется из $h(t)$. На кривой разгона строим две точки A и B . Точка A определяется как $0,33 k$, а точка B имеет ординату $0,7 k$. Постоянная времени T и время запаздывания τ определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1-h_A)}, \quad (4.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1-h_A) - t_A \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}, \quad (4.4)$$

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

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

Из графика, изображенного на рисунке 4.2 определяем расположение на кривой точек A и B и находим необходимые неизвестные параметры.

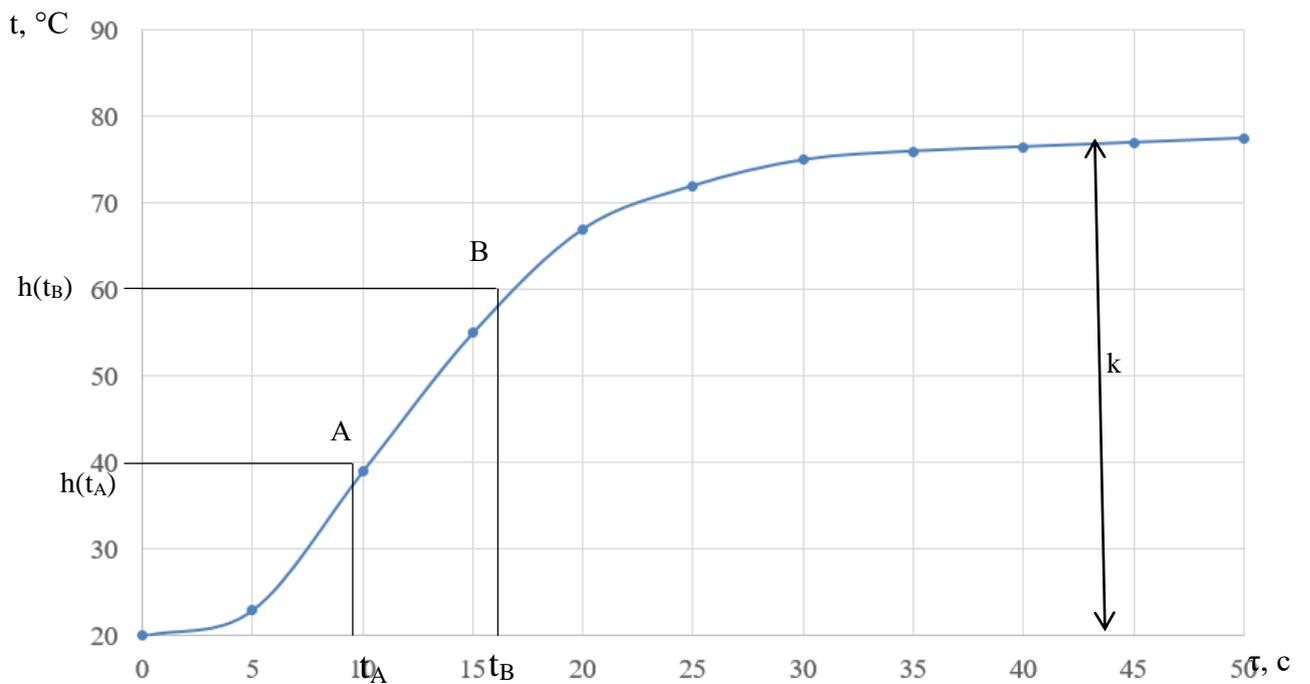


Рисунок 4.2 – Определение точек на кривой разгона, для расчета параметров регулятора

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

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (4.5)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (4.6)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 10,5 - 17) = 7,25 \text{ с}, \quad (4.7)$$

$$T = 1,25(17 - 10,5) = 8,12 \text{ с}. \quad (4.8)$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{58}{(8,12P+1)} e^{-7,25P}. \quad (4.9)$$

4.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 4.3 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

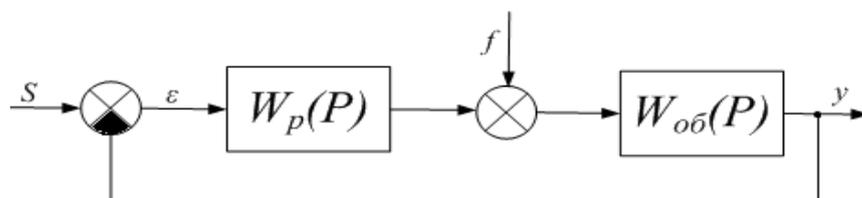


Рисунок 4.3 – Структурна схема системы регулирования

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

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221. \quad (4.10)$$

Передачная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{58}{(8,12P+1)} e^{-7,25P}. \quad (4.11)$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 4.1 в виде листинга расчета. Полученные значения представлены для диапазона частот от 0,0001 до 0,03 с^{-1} , с шагом по частоте в 0,01 с^{-1} .

Таблица 4.1 – Результаты расчетов расширенных частотных характеристик объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0.0001	58.019618	-0.0891847	58.01968641
0.01	59.092659	-9.2331903	59.80964925
0.02	58.317822	-18.7003886	61.24273727
0.03	55.621773	-27.9980925	62.27097879
0.04	51.099593	-36.6277355	62.87097397
0.05	45.003475	-44.1536964	63.0465039
0.06	37.700741	-50.257646	62.82656159
0.069	29.614575	-54.765268	62.25959849

Продолжение таблицы 4.1 – Результаты расчетов расширенных частотных характеристик объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{o6}(m,\omega)$	$\text{Im}_{o6}(m,\omega)$	$A_{o6}(m,\omega)$
0.079	21.164837	-57.6430406	61.40578517
0.089	12.722635	-58.9724923	60.32926554
0.099	4.584575	-58.9137462	59.09185923
0.109	-3.034551	-57.6690772	57.74886112
0.119	-9.995964	-55.4531625	56.34689455
0.129	-16.224035	-52.4724522	54.92337876
0.139	-21.691253	-48.913133	53.50705605
0.149	-26.40409	-44.9357674	52.11908621
0.159	-30.391219	-40.6744177	50.7743485
0.168	-33.694497	-36.2383926	49.48272655
0.178	-36.362473	-31.7152624	48.25025746
0.188	-38.445997	-27.1742706	47.08009843
0.198	-39.995402	-22.6696432	45.9733065
0.208	-41.05884	-18.2435465	44.92944838
0.218	-41.681395	-13.928602	43.94706642
0.228	-41.904717	-9.7499562	43.0240278
0.238	-41.766981	-5.7269424	42.15778172
0.248	-41.303036	-1.8743941	41.34554588
0.258	-40.544666	1.7963321	40.58443933
0.267	-39.520885	5.2765669	39.87157521
0.277	-38.25826	8.5597261	39.204124
0.287	-36.781207	11.6408532	38.57935503
0.297	-35.112278	14.516277	37.99466235

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)}, \quad (4.12)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{o6}(m, \omega) + \text{Re}_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, \omega)}, \quad (4.13)$$

где T_u – постоянная интегрирования регулятора,

K_p – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0, до 0,5 с⁻¹, с шагом по частоте в 0,02 с⁻¹. Полученные значения представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчетов значений параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0,02	-0,01595	0,00003
0,0399	-0,01445	0,00010
0,0598	-0,01275	0,00023
0,0797	-0,01089	0,00039
0,0996	-0,00887	0,00058
0,1195	-0,00675	0,00079
0,1394	-0,00453	0,00103
0,1593	-0,00224	0,00127
0,1792	0,00008	0,00152
0,1991	0,00241	0,00175
0,219	0,00472	0,00198
0,2389	0,00700	0,00218
0,2588	0,00922	0,00235
0,2787	0,01135	0,00249
0,2986	0,01337	0,00258
0,319	0,01528	0,00262
0,3384	0,01703	0,00262
0,3583	0,01863	0,00255
0,3782	0,02006	0,00242
0,3981	0,02130	0,00223
0,418	0,02235	0,00197
0,4379	0,02319	0,00165
0,4578	0,02382	0,00126
0,4777	0,02423	0,00081
0,4976	0,02442	0,00029

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 4.4. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,75. Все значения параметров

настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

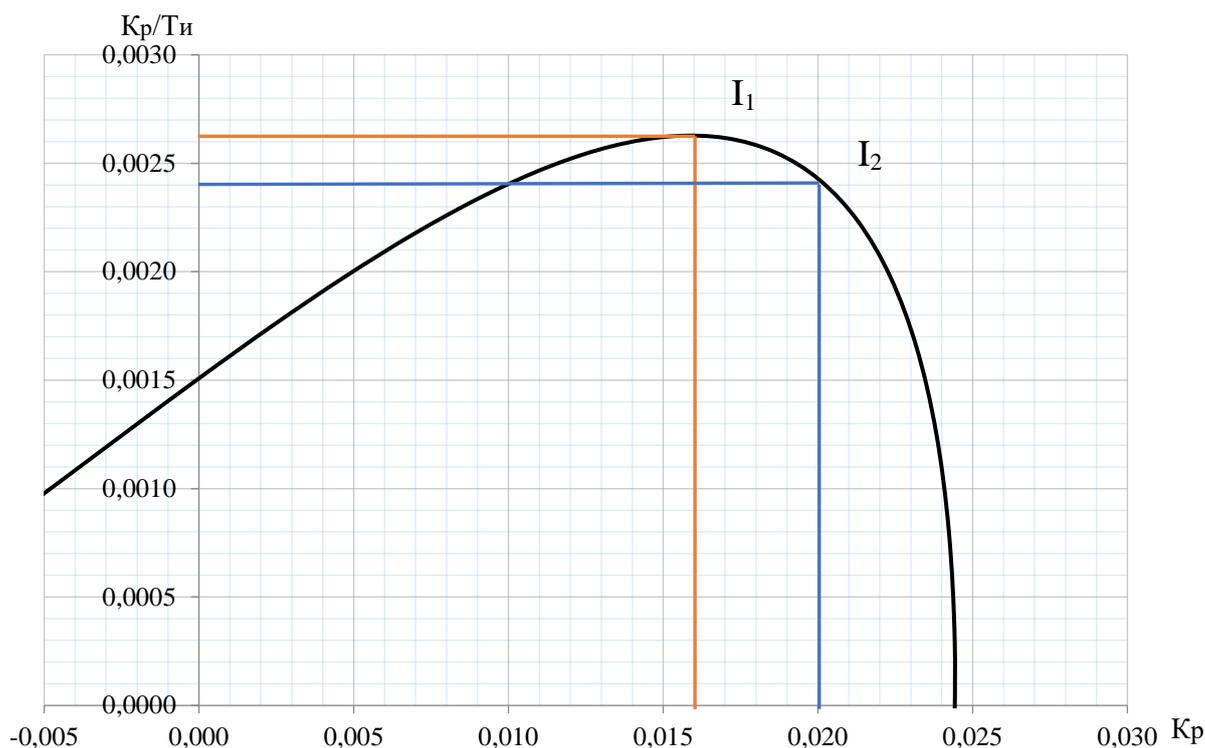


Рисунок 4.4 – Параметры настройки ПИ-регулятора

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

Из таблицы 4.2 определяем:

$$\max \left(\frac{K_P}{T_u} \right) = 0,00262, \quad K_P = 0,01528, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,319 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_P}{K_P/T_u} = 5,83 \text{ с.} \quad (4.14)$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (4.15)$$

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

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

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 4.5 представлен график вещественной частотной характеристики.

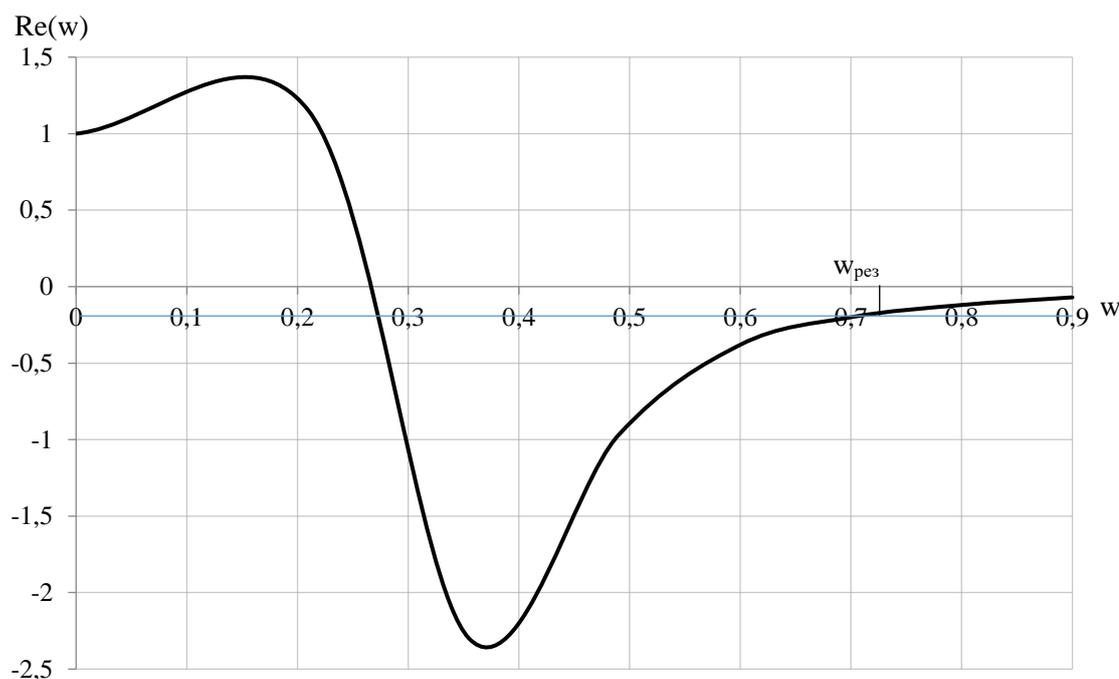


Рисунок 4.5 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (4.16)$$

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

ω - частота;

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение

вещественной частотной характеристики системы стремится к 0. Из рисунка 4.5 определяем это значение.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,72} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (4.17)$$

На рисунке 4.6 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

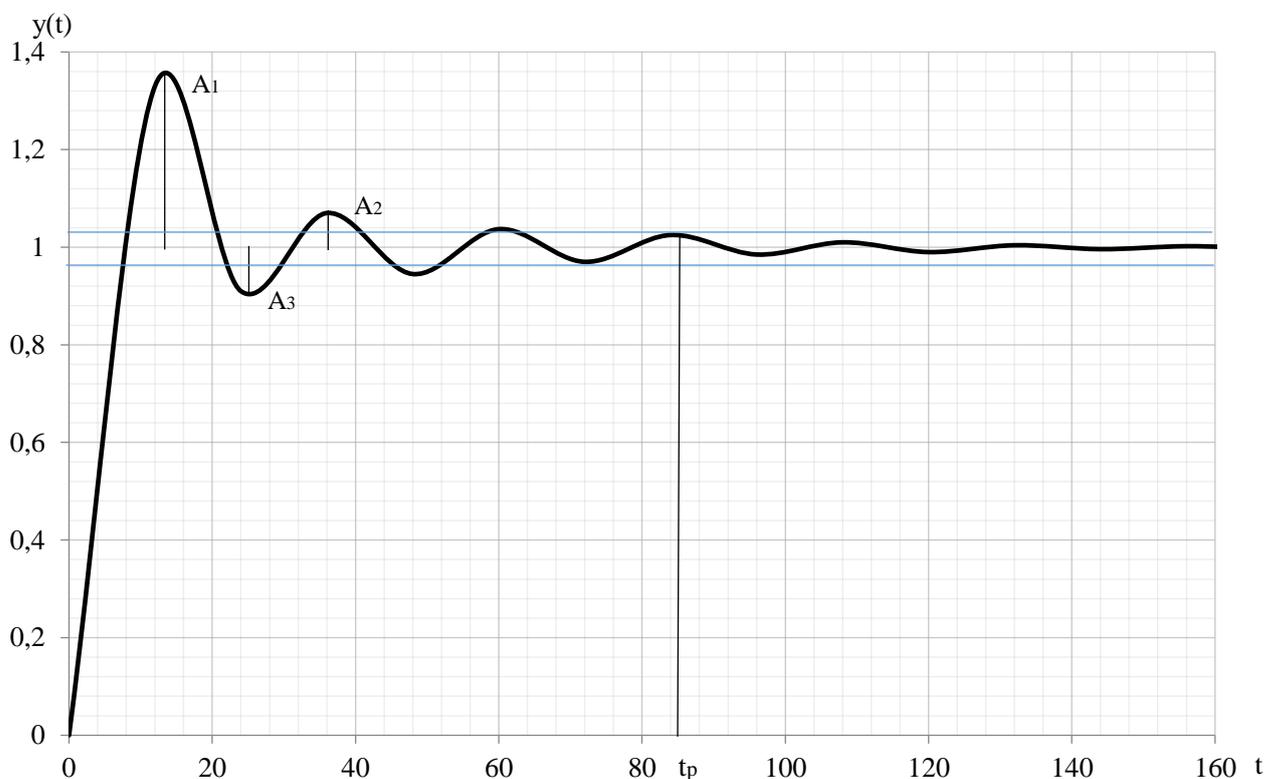


Рисунок 4.6 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

- 1) максимальная динамическая ошибка: $A_1=0,35$;
- 2) перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0,09}{0,35} \cdot 100 = 25,7\%$,

где $A_3 = 0,09$ – первое минимальное отклонение регулируемой величины;

3) динамический коэффициент регулирования $R_{д}$:

$$R_{д} = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 = \frac{0,35 + 1}{58} \cdot 100 = 2,3\%$$

где $K_{об} = 58$ – коэффициент передачи объекта;

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,075}{0,35} = 0,78$$

4) степень затухания переходного процесса:

где $A_2 = 0,075$ - второй максимальный выброс регулируемой величины;

5) статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0$;

6) время регулирования: $t_p = 87$ с.

5 Разработка фрагментов программного и информационного обеспечений

5.1 Программное обеспечение

Программное обеспечение АСУ ТП — совокупность программ, обеспечивающих функционирование всех цифровых вычислительных средств АСУ ТП (контроллеры, серверы, рабочие и инженерные станции, программаторы, панели оператора), а также решающих все функциональные задачи на этапах разработки, наладки, тестирования и эксплуатации системы.

Описание программного обеспечения содержит следующую информацию:

- 1) структуру программного обеспечения;
- 2) функции частей программного обеспечения;
- 3) средства разработки программного обеспечения;
- 4) описание средств, расширяющих возможности операционной системы.

Программное обеспечение АСУ ТП делят на две основные категории:

- 1) общее программное обеспечение, включающее операционные системы, SCADA-системы, пакеты программ для программирования контроллеров, компиляторы, редакторы и т.п., общее программное обеспечение АСУ ТП не привязано к конкретному объекту автоматизации, закупается и поставляется так же, как и технические средства;

- 2) специальное программное обеспечение — это программы, разработанные для конкретной АСУ ТП, к этой категории относятся программы для контроллеров, реализующие определенные функциональные задачи обработки информации и управления; программы, сгенерированные в среде SCADA-системы для визуализации, архивирования данных конкретного технологического процесса.

Программное обеспечение (ПО) средств АСУ подразделяется на [75]:

- 1) системное ПО;

- 2) прикладное ПО;
- 3) сервисное ПО.

Системное ПО АСУ [76, 77] – совокупность программ для управления аппаратной частью автоматизированного рабочего места или программируемого логического контроллера. В данной АСУ системное ПО требуется для организации взаимодействия человека с технологическим процессом посредством отображения мнемосхем на мониторе АРМ. Системное ПО программируемого логического контроллера необходимо для запуска и выполнения прикладного ПО из системы контроллера.

Прикладное ПО АСУ [76, 77] – программное обеспечение, конфигурируемое инженером для последующей загрузки в память программируемого логического контроллера с целью автоматизации технологического процесса. Прикладное ПО обеспечивает выполнение заданных алгоритмов.

Сервисное ПО АСУ [77] – вспомогательное программное обеспечение, включающее средства разработки прикладного ПО, антивирусное ПО, офисное ПО и др.

Прикладное ПО уровня ПЛК, работающее в реальном времени, разработано для автоматизированной системы с учетом ее специфики с использованием стандартных языков программирования ПЛК в соответствии с МЭК 61131-3.

Прикладное ПО АРМ оператора АСУ разработано на основе современных SCADA-систем и реализовывает в АСУ отображение информации на экранах мониторов ПК (видеокадры, табличные формы) для выполнения технологического мониторинга, команд управления с АРМ, формирование архивной информации, формирование трендов по измеряемым параметрам, файлов журнала событий и системного журнала.

5.2 Разработка мнемосхемы SCADA-системы

Мнемосхема представляет собой совокупность изображений оборудования, задействованного на объекте, а также связей объекта, которые показываются на диспетчерских пультах или на персональном компьютере. Мнемосхемы позволяют оператору, находясь на автоматизированном рабочем месте следить за технологическим процессом, а также принимать в нем непосредственное участие (запускать различные насосы, регулировать расходы веществ, открывать или закрывать задвижки и многое другое). Также на мнемосхеме можно наблюдать различные предупреждения, которые отображают сбои в работе оборудования, или предупреждают, что на некоторые параметры технологического процесса следует обратить внимание.

В данной работе была разработана мнемосхема системы управления климатической установкой с помощью программного обеспечения TIA Portal, которая представлена на рисунке 5.1.

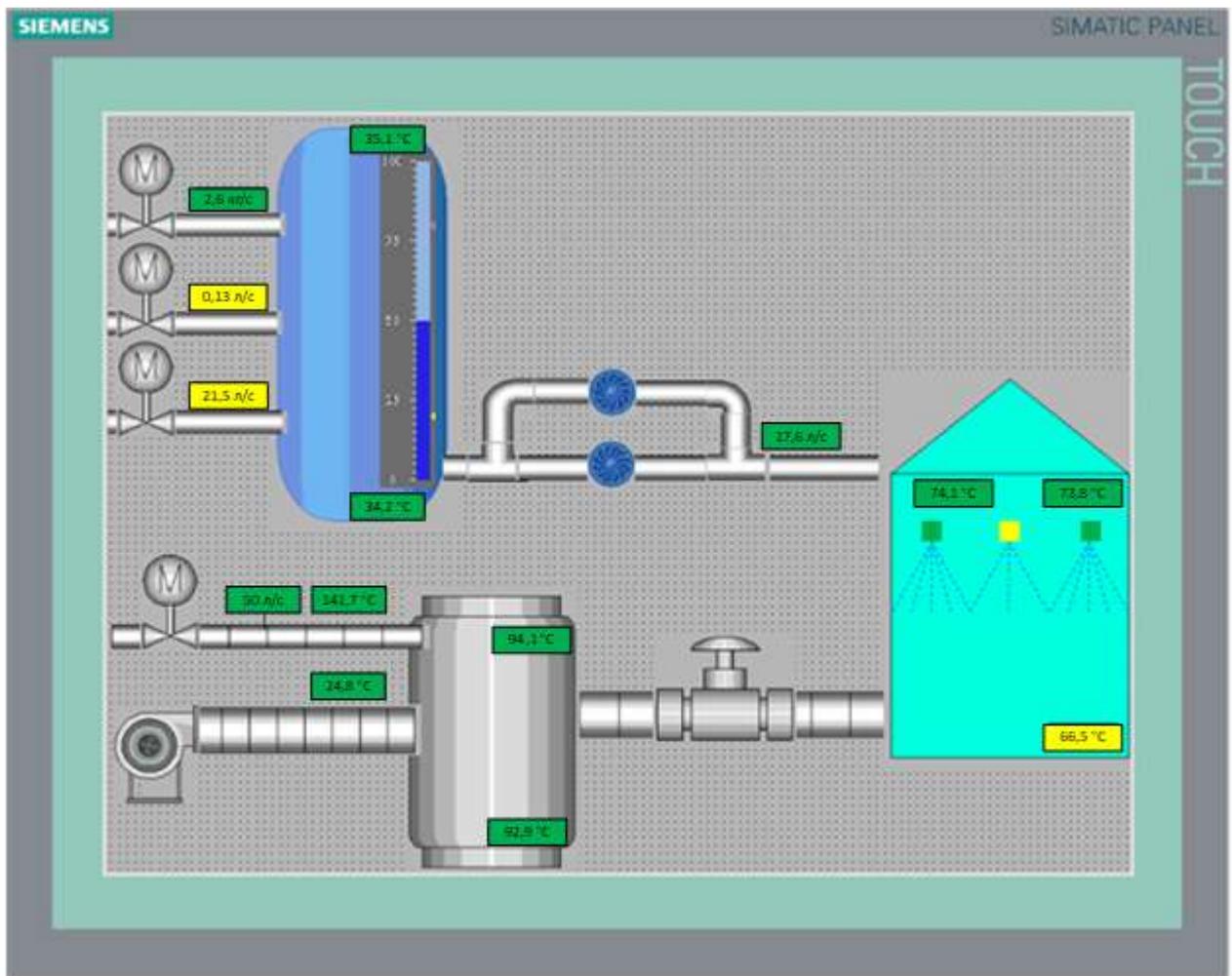


Рисунок 5.1 – Мнемосхема системы управления климатической установкой

На мнемосхему выводятся основные технологические параметры системы, такие как температура, давление, расходы жидкостей и дымовых газов. Также реализована функция правления задвижками, насосами, мешалкой и дутьевым вентилятором. Включение насосов производится с чередованием на каждом цикле для равномерной нагрузки.

При превышении значения одного из параметров опасного уровня на экран выводится аларм для привлечения внимания оператора, если операции, производимые контроллером не дадут результатов. При невозможности урегулирования значения параметра до допустимого уровня и достижения им критического значения, сработает независимая система автоматической

защиты. В этом случае производится последовательное перекрытие всех задвижек и продувка системы наружным воздухом и чистой водой.

5.3 Информационное обеспечение

Передача данных организована посредством сети основанной на протоколе обмена Profibus.

На уровне сбора и обработки актуальность данных позволяет хранить их в оперативной памяти сервера. База этого уровня содержит следующие данные:

- 1) данные модулей ввода/вывода;
- 2) данные диагностики системы;
- 3) данные преобразования.

Совместимость с другими системами по передаче данных обеспечивается на уровне используемых протоколов, которые являются стандартом в области локальных вычислительных и промышленных сетей. На уровне представления программ контроллеров совместимость обеспечивается использованием форматов IEC 1131-3.

Все типы данных, образующие информационную базу данных с учетом функционального назначения на концептуальном уровне, формируются в логическую модель данных. Логическая модель отражает логические связи между элементами, является реляционной и состоит из следующих логических баз данных:

- 1) база данных ПЛК;
- 2) БД реального времени;
- 3) историческая БД.

База данных ПЛК содержит текущие данные, поступающие от датчиков, исполнительных механизмов на модули ввода-вывода, хранимые и обрабатываемые контроллерами, а также конфигурационную информацию, созданную/настроенную в системе проектирования и загружаемую в ПЛК. Обмен информацией между базой данных ПЛК и базой данных реального

времени происходит по заданному алгоритму. База данных реального времени содержит оперативную информацию о текущем состоянии технологического процесса, а также учетно-расчетную информацию. Значения технологических параметров в реальном масштабе времени выводятся на АРМ оператора. Обмен данными между базой данных реального времени и базой данных ПЛК осуществляется с помощью тегов процесса (внешние теги).

Информация из базы данных реального времени используется для:

- 4) контроля состояния технологического процесса;
- 5) организации работы алгоритмов управления;
- 6) управления исполнительными механизмами;
- 7) формирования исторической базы данных.

Физическая структура внутримашинной информационной базы определяет способ хранения данных (физический адрес и т.д.) и доступ к ним. БД реального времени АСУ находится на оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) АРМ. Базы данных текущих параметров уровня ПЛК размещается в рабочей памяти (ОЗУ) процессора ПЛК.

5.4 Алгоритмы управления системы

На рис. 5.2 представлены алгоритмы управления автоматизированной системы подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси.

В начале цикла работы вводятся параметры необходимой смеси, температура в целевой зоне, а также орошаемость на квадратный метр и параметры груза. Программно рассчитывается необходимое время прогрева и запускается работа системы. В алгоритм работы заложен контроль смены дисперсности капель (форсунок), влажности и температуры в автоматическом режиме. Система выключается автоматически по прошествии рассчитанного необходимого времени работы или в ручном режиме по команде оператора.

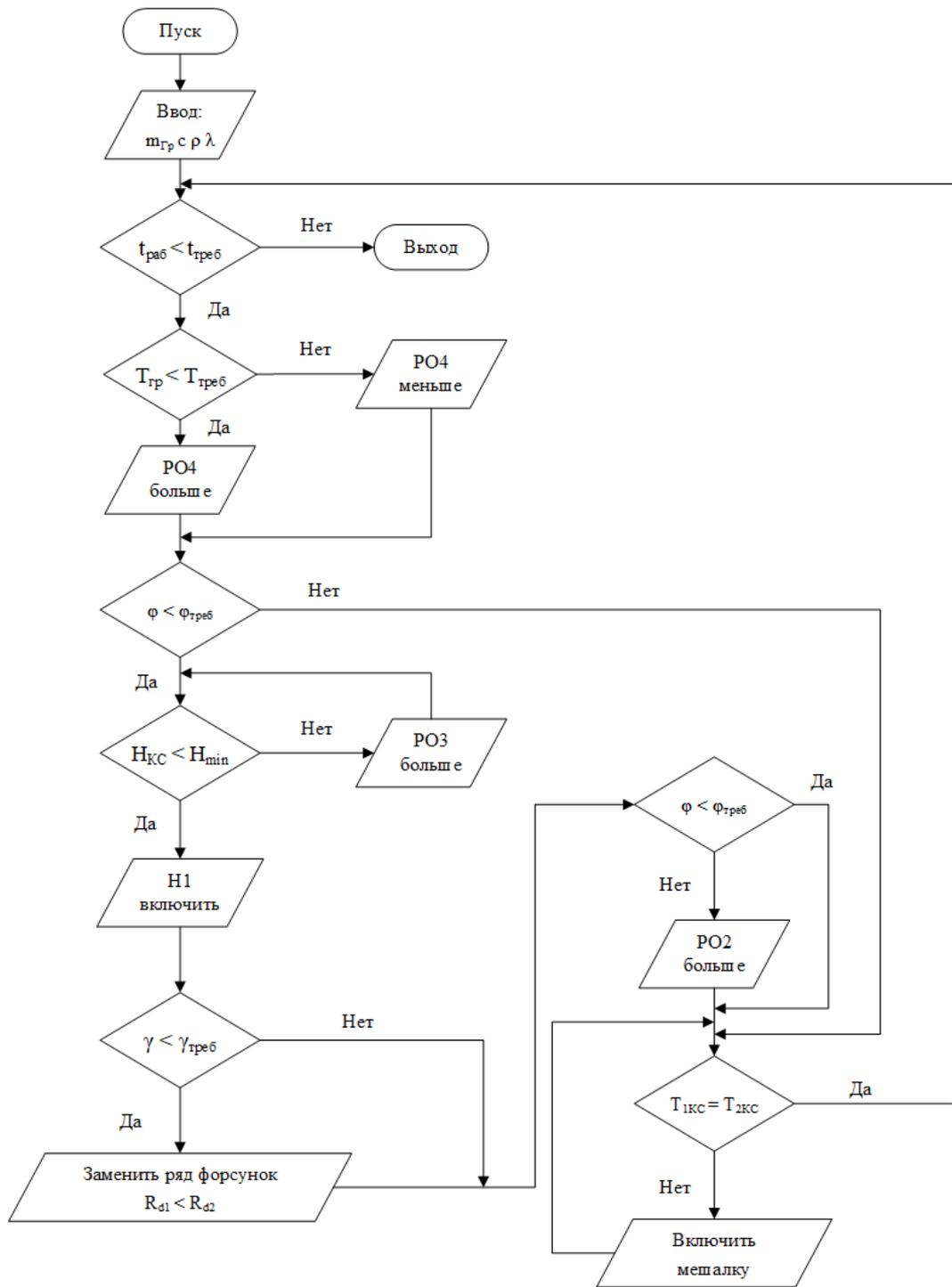


Рисунок 5.2 – Алгоритмы управления системой

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ82	Ткаченко Павлу Петровичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	им. И.Н. Бутакова
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта не более 2000000 руб. Затраты на оплату труда – не более 10 % Заработная плата инженера – 17000 руб/мес Заработная плата руководителя – 30000 руб/мес</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации – 20%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисление в социальные фонды 30,2 % от ФОП</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Планирование работ и временная оценка их выполнения</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Смета затрат на проект</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Смета затрат на оборудование Оценка экономической эффективности</i>

Перечень графического материала:

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. FAST-анализ 5. Матрица SWOT 6. График проведения и бюджет НТИ 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 8. Потенциальные риски
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Ткаченко Павел Петрович		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

С целью определения потенциальных потребителей результатов исследований рассматривается целевой рынок и проводится его сегментирование.

Целевым рынком называются сегменты рынка где в будущем будет продаваться итоговая разработка. Сегментом рынка называется особая выделенная часть рынка или группы потребителей, которые обладают общими чертами и признаками.

Сегментированием называется разделение потенциальных потребителей на разные группы. Каждой группе потребителей соответствует определенный товар или услуга. Так как предполагается, что потребителями разрабатываемой системы будут коммерческие предприятия, критериями сегментирования выбираем: местоположение, отрасль, размер предприятия и выпускаемая продукция.

Так как продукт исследования имеет специфические области применения (разморозка или подогрев сырья или продукции, увлажнение либо бескислородная сушка), в качестве двух основных критериев выбираем размер продукции и ее вид.

		Вид продукции		
		Дефростеры пищевые	Дефростеры сырьевые	Сушильные камеры
Размер продукции	Крупные	ООО «ПТК «НИКА»	ПИКСАН	ПИКСАН
	Средние	ООО «ПТК «НИКА»		ООО «ПТК «НИКА»
	Мелкие	ТЕНТРОН		ТЕНТРОН

Рисунок 6.1 – Карта сегментирования рынка товаров:

 ТЕНТРОН  ПИКСАН  ООО «ПТК «НИКА»

Среди продукции, представленной на рынке выделяются промышленные дефростеры и сушильные аппараты различной производительности и исполнения. Рынок дефростеров и сушильных аппаратов небольшого размера производительностью до 24 тонн продукции в сутки занимает продукция ТЕНТРОН. Камера позволяет разово загрузить до 6 тонн замороженного сырья. Время разморозки зависит от вида сырья и составляет 6–10 часов. Потребляемая мощность установки – 14,4 кВт/ч, расход пара – до 48 м³/ч.

Большие сушильные аппараты и устройства разморозки ПИКСАН способны обслуживать до 24 железнодорожных вагонов в сутки. Таким образом производительность продукции составляет до 1700 т/сут. ПИКСАН производит дефростеры в трех исполнениях: 1 – в виде полностью закрытых неутепленных ангаров; 2 – в виде полностью закрытых утепленных ангаров; 3 – в виде полуоткрытого (навес, боковые стены до высоты 2,5 метра) неутепленного ангара. Однако существенным недостатком продукции ПИКСАН является нагрев только стенок вагонов, без прогрева их содержимого. Это позволяет полностью разгрузить содержимое вагона без дополнительной очистки, но в некоторых областях применения требуется полная разморозка всего содержимого вагона. Потребляемая электрическая мощность установок составляет 40–220 кВт/ч в зависимости от исполнения и количества размораживающих модулей.

Продукция «ПТК «НИКА» представлена на рынке пищевых дефростеров производительностью 20–60 т/сут и сушильными камерами производительностью до 30 т/сут. Дефростеры «ПТК «НИКА» в качестве рабочего тела используют пар и горячий воздух. Продукция представляет собой готовые модульные камеры, поставляемые в комплекте с парогенератором. Сушильные камеры и дефростеры «ПТК «НИКА» имеют автоматизированное управление, повышающее качество разморозки и сушки. Потребляемая электрическая мощность установок составляет 15,8–86 кВт/ч, расход пара – 36–124 м³/ч. На хранение после дефростации расходуется 8–18 кВт/ч.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Проведем анализ конкурентноспособности разрабатываемой системы с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 6.1. Для этого выбираются конкурентные разработки ПИКСАН (К1) и «ПТК «НИКА» (К2) и вносятся в таблицу.

Таблица 6.1 – 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 эффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,12	4	3	3	0,48	0,36	0,36
2. Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
3. Энергоэкономичность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
4. Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
5. Уровень шума	0,03	3	4	4	0,09	0,12	0,12
6. Безопасность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	4	3	2	0,12	0,09	0,06
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	0	2	3	0	0,06	0,09
3. Цена	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
5. Послепродажное обслуживание	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Финансирование научной разработки	0,05	4	2	3	0,2	0,1	0,15
Итого	1				3,8	3,59	3,59

Основным недостатком конкурентных товаров является их узкая специализация. В то же время, элементы разрабатываемой системы могут стать частями существующих конкурентных товаров и улучшить их. Это открывает новый рынок потребителей в виде конкурирующих производителей. Разрабатываемая система выполняется с использованием современных технических средств автоматизации, разработок человеко-машинного интерфейса и программного обеспечения. Широкие возможности внедрения предлагаемой системы делают ее более универсальной и применимой в широком диапазоне сфер производства, чем существующие аналоги. Несмотря на незначительно большую цену и уровень шума, создаваемого работающей установкой, она имеет большую безопасность для рабочего персонала, энергоэкономичность и качество интеллектуального интерфейса. Расчетная производительность системы также оказалась выше конкурирующих товаров.

6.1.3 FAST-анализ

В качестве альтернативы функционально-стоимостного анализа рассматривается FAST-анализ. Его сутью является гипотеза, по которой в стоимость создания и эксплуатации любого объекта входят дополнительные излишние расходы, которые не имеют прямого отношения к функциональному назначению объекта и могут быть связаны с неидеальностью технологии, конструкции, используемых материалов, управления персоналом и т.д.

FAST-анализ предполагает проведение в шесть стадий:

- 1) Выбор объекта FAST-анализа;
- 2) Описание функций объекта (главной, основной и вспомогательной);
- 3) Определение значимости выполняемых функций объектом;
- 4) Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
- 5) Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
- 6) Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

В качестве объекта анализа в данной магистерской диссертации выбираем объект исследования – автоматизированную систему подготовки многокомпонентной газопарокапельной системы.

Стадия 2. Описание функций объекта (главной, основной и вспомогательной).

Главной функцией объекта анализа является создание потока с требуемыми показателями температуры, влажности и орошаемости на квадратный метр.

Основной функцией объекта анализа является прием распыляемой жидкости, пара и дымовых газов, подготовка смеси с требуемыми параметрами и ее распыление.

К вспомогательной функции можно отнести транспортировку смеси и ее концентрированное распыление.

Представим полученную информацию в виде таблицы 6.2.

Таблица 6.2 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Насос	2	Создание напора жидкости	х		
Набор форсунок	2	Создание потока капель			х
Бак-смеситель	1	Подготовка жидкостной смеси		х	
Трубопровод	2	Транспортировка компонентов		х	
Смеситель дымовых газов	1	Подготовка газовой смеси		х	
Дутьевой вентилятор	1	Подача дымовых газов в систему	х		

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

По предложенной Блумбергом и Глущенко методу расстановки приоритетов определяем значимость функций элементов объекта. В основе данного метода лежит экспертно-расчетное идентификация значимости каждой функции.

На первом этапе строим матрицу смежности функции, представленную в виде таблицы 6.3.

Таблица 6.3 – Матрица смежности

	Создание напора жидкости	Создание потока капель	Подготовка жидкостной смеси	Транспортировка компонентов	Подготовка газовой смеси	Подача дымовых газов в систему
Создание напора жидкости	=	>	>	>	>	=
Создание потока капель	<	=	<	<	<	<
Подготовка жидкостной смеси	<	>	=	=	=	<
Транспортировка компонентов	<	>	=	=	=	<
Подготовка газовой смеси	<	>	=	=	=	<
Подача дымовых газов в систему	=	>	>	>	>	=

Далее преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций (табл. 6.4).

Таблица 6.4 – Матрица количественных соотношений функций

	Создание напора жидкости	Создание потока капель	Подготовка жидкостной смеси	Транспортировка компонентов	Подготовка газовой смеси	Подача дымовых газов в систему	Итого
Создание напора жидкости	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1	8
Создание потока капель	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	3,5

Продолжение таблицы 6.4 – Матрица количественных соотношений функций

Подготовка жидкостной смеси	0,5	1,5	1	1	1	0,5	5,5
Транспортировка компонентов	0,5	1,5	1	1	1	0,5	5,5
Подготовка газовой смеси	0,5	1,5	1	1	1	0,5	5,5
Подача дымовых газов в систему	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1	8
							36

Следующим действием определяется значимости функции путем деления ее балла на сумму баллов всех функций.

Создание напора жидкости и подача дымовых газов имеют значимость 0,22; подготовка жидкостной смеси, транспортировка компонентов и подготовка газовой смеси имеют значимость 0,15; создание потока капель имеет значимость 0,1.

Стадия 4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

На стадии 4 определяется уровень затрат на выполнение каждой функции с помощью нормативного метода. Полученный расчет представлен в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Стоимость, руб.
Насос	2	Создание напора жидкости	30000
Набор форсунок	2	Создание потока капель	11350
Бак-смеситель	1	Подготовка жидкостной смеси	106000
Трубопровод	2	Транспортировка компонентов	23500
Смеситель дымовых газов	1	Подготовка газовой смеси	36050
Дутьевой вентилятор	1	Подача дымовых газов в систему	64530

Далее суммируем затраты по каждой функции и определяем общую стоимость каждой из них. Эту информацию используем для построения функционально-стоимостной диаграммы

Стадия 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

На данной стадии обобщаем собранную ранее информацию в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) (рис. 6.2).

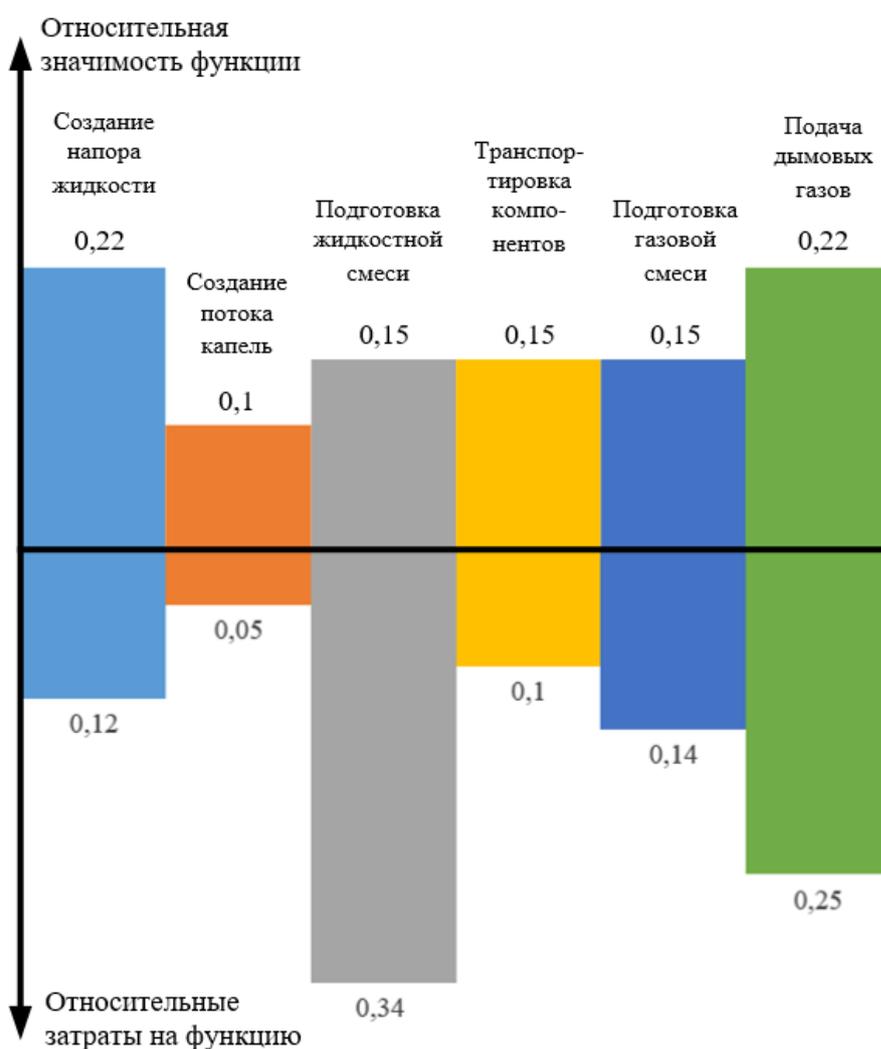


Рисунок 6.2 – Функционально-стоимостная диаграмма

По функционально-стоимостной диаграмме определяется перерасход средств на выполнение каждой функции. После анализа ФСД, приведенной на рис. 6.2, становится видна диспропорция между полезностью и затратами на

функцию «Подготовка жидкостной смеси». Необходимо ликвидировать данные диспропорции.

Стадия 6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

В качестве шагов по снижению диспропорции между относительной значимостью и затратами на выполнение «Подготовки жидкостной смеси» предлагается провести оптимизацию технических параметров бака-смесителя. На начальном этапе проектирования предполагалась покупка готового бака-смесителя объемом 1 м³, выполненного из нержавеющей стали. Так как избыточного давления более 0,1 Мпа на участке до насосов в системе не предполагается, можно заменить бак из нержавеющей стали на бак из полимерных материалов. В таком случае его цена составит 15000–20000 руб. снижение цены на 85000–90000 руб. Позволит решить диспропорцию значимости и затрат на выполнение функции «Подготовка жидкостной смеси».

6.1.4 Диаграмма Исикава

Диаграмма Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) представляет собой поиск и представление причинно-следственных отношений в проекте в графическом виде.

Построение диаграммы начинается с определения области, являющейся объектом анализа. Установленная проблемная область наносится на основную горизонтальную стрелку.

Следующим шагом устанавливаются факторы, которые влияют на объект анализа. В данном случае такими факторами являются:

- материалы;
- персонал;
- внешняя среда;
- потребители;
- менеджмент.

Проблемные факторы подводятся стрелками первого уровня к основной проблеме. Далее к стрелкам первого уровня подводятся стрелки второго уровня

с влияющими факторами, оказывающими заметное влияние на объект анализа. Каждый фактор более низкого уровня будет являться следствием по отношению к причине более высокого уровня.

Полученная причинно-следственная диаграмма представлена на рис. 6.3.



Рисунок 6.3 – Причинно-следственная диаграмма

6.1.5 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Проведение SWOT-анализа осуществляют в несколько этапов.

На первом этапе происходит описание сильных и слабых сторон проекта, определении его возможностей и потенциальных угроз при его реализации, которые могут появиться извне.

1. Сильные стороны.

К сильным сторонам относятся факторы, показывающие конкурентоспособность проекта. В сравнении с конкурентами сильными сторонами проекта является возможность использования разрабатываемой системы в широком диапазоне прикладных задач, связанных с теплообменными процессами. Проект системы предполагает высокую степень автоматизации, что упрощает ее использование. Контрольно-измерительный комплекс предоставляет полную информацию о работе системы и всех протекающих процессах. Перечисленные факторы позволяют облегчить процесс управление системой подготовки газопарокапельной смеси и ее использования. Разработка конструкторской документации выполнена в соответствии с нормами ЕСКД, что облегчает работу с ней. Использование современных программно-аппаратных комплексов, элементов управления и измерения системы закладывает большой ресурс ее использования. База знаний, полученная при выполнении научно-исследовательских работ, позволяет повысить эффективность работы системы и использовать синергетические эффекты при ее работе.

2. Слабые стороны.

К слабым сторонам проекта можно отнести низкую степень практической реализации и отсутствие испытаний прототипа системы. При реальной работе системы могут возникать ситуации, непредсказуемые на этапе разработки. Для компенсации слабых сторон следует непрерывно сопровождать процесс сборки и пуско-наладки системы.

3. Возможности.

Транспортировка продуктов питания и сырья, подвергаемых заморозке в настоящее время развивается ускоренными темпами. Предлагаемая система может устанавливаться в морских портах для разморозки морепродуктов, на предприятиях пищевой промышленности для разморозки продуктов питания и сырья. Также данная система подходит для разморозки грузов большого

объема, замороженного естественным путем при транспортировке в холодных условиях. Это позволяет использовать систему на предприятиях тяжелой промышленности, предприятиях энергетики, в строительном секторе и на нефтеперерабатывающих заводах. Тенденция к увеличению продукции перечисленных секторов экономики наблюдается уже долгое время с короткими кризисными ситуациями, при этом после кризиса наблюдается стремительный рост всех областей. Данные факты потребуют поставок нового оборудования. Еще одним фактором можно назвать постоянное обновление технической базы предприятий и модернизация имеющегося оборудования. В этом процессе разрабатываемая система из-за современных разработок, использованных в ней, имеет предпочтительные характеристики.

4. Угрозы.

С учетом последних тенденций возможные угрозы для проекта исходят от борцов сохранения окружающей среды. Несмотря на относительную безопасность системы для нее, предприятия и целевые потребители находятся в зоне риска при принятии каких-либо ограничивающих документов о вредных выбросах. Еще одним опасным фактором может стать потепление климата, из-за которого при транспортировке грузов последние не будут замораживаться или замораживаться в меньшей степени. В текущей внешнеэкономической и международной ситуации торговое эмбарго или финансовые санкции могут стать преградой для поставки импортных комплектующих системы. Решением может стать использование отечественных аналогов компонентов, однако они имеют худшие характеристики. Изменение курса валют может привести к удорожанию проекта.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табличной форме (табл. 6.6).

Таблица 6.6 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Энергоэффективность и экономичность системы.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Низкая цена в сравнении с конкурентами.</p> <p>С4. Высокая степень автоматизации.</p> <p>С5. Высококвалифицированный персонал для разработки.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Отсутствие рабочего прототипа разработки.</p> <p>Сл2. Необходимость обучения персонала при работе с системой</p> <p>Сл3. Отсутствие серийного производства.</p> <p>Сл4. Отсутствие опыта при работе с реальными прототипами.</p> <p>Сл5. Плохая логистическая сеть на начальном этапе.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование ресурсной базы ТПУ.</p> <p>В2. Использование производственных мощностей местных компаний.</p> <p>В3. Низкая стоимость продукции и компонентов в сравнении с конкурентами за счет местных поставок.</p> <p>В4. Увеличивающийся спрос на новую продукцию.</p> <p>В5. Универсальность системы.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на начальном этапе.</p> <p>У2. Преимущества конкурентов.</p> <p>У3. Ограничение на импорт зарубежной продукции.</p> <p>У4. Отсутствие стабильного финансового обеспечения.</p> <p>У5. Сложность сертификации системы.</p>		

В рамках второго этапа строится интерактивная матрица проекта для выявления сильных и слабых сторон научно-исследовательского разработки

внешним условиям окружающей среды. Это помогает при выявлении стратегических изменений. С помощью интерактивной матрицы устанавливаются взаимосвязи областей матрицы SWOT, установлении связей сильных и слабых сторон проекта. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Полученные матрицы для каждой области матрицы SWOT представлены в таблицах 6.7–6.10.

Таблица 6.7 – Интерактивная матрица проекта СВ

		Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности проекта	В1	0	+	+	+	+
	В2	0	0	+	+	+
	В3	+	0	+	+	0
	В4	+	+	+	+	-
	В5	+	-	+	0	-

Таблица 6.8 – Интерактивная матрица проекта СЛВ

		Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	В1	-	+	+	-	0
	В2	-	+	+	-	-
	В3	+	0	-	+	+
	В4	-	-	+	0	-
	В5	0	-	-	-	+

Таблица 6.9 – Интерактивная матрица проекта СУ

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Угрозы проекта	У1	-	-	+	+	-
	У2	+	+	0	+	-
	У3	0	0	+	+	-
	У4	-	-	+	-	+
	У5	-	-	-	+	+

Таблица 6.10 – Интерактивная матрица проекта СЛУ

		Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Угрозы проекта	У1	+	0	-	+	+
	У2	0	0	+	-	+
	У3	0	-	+	0	-
	У4	+	-	+	-	0
	У5	+	-	-	+	-

После анализа полученной интерактивной матрицы представим итоговую матрицу SWOT-анализа в виде таблицы 6.11.

Таблица 6.11 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>C1. Энергоэффективность и экономичность системы.</p> <p>C2. Экологичность технологии.</p> <p>C3. Низкая цена в сравнении с конкурентами.</p> <p>C4. Высокая степень автоматизации.</p> <p>C5. Высоквалифицированный персонал для разработки.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Отсутствие рабочего прототипа разработки.</p> <p>Сл2. Необходимость обучения персонала при работе с системой</p> <p>Сл3. Отсутствие серийного производства.</p> <p>Сл4. Отсутствие опыта при работе с реальными прототипами.</p> <p>Сл5. Плохая логистическая сеть на начальном этапе.</p>
--	---	---

Продолжение таблицы 6.11 – Матрица SWOT

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование ресурсной базы ТПУ.</p> <p>В2. Использование производственных мощностей местных компаний.</p> <p>В3. Низкая стоимость продукции и компонентов в сравнении с конкурентами за счет местных поставок.</p> <p>В4. Увеличивающийся спрос на новую продукцию.</p> <p>В5. Универсальность системы.</p>	<p>B1B2B3B4C3C4</p>	<p>B1B2Cл2Cл3</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на начальном этапе.</p> <p>У2. Преимущества конкурентов.</p> <p>У3. Ограничение на импорт зарубежной продукции.</p> <p>У4. Отсутствие стабильного финансового обеспечения.</p> <p>У5. Сложность сертификации системы.</p>	<p>У1У2У3У5С4</p>	<p>У2У3У4Сл3</p>

6.1.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки готовности проекта к коммерческой реализации разработки заполняется форма, содержащую ответы на типичные вопросы о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Форма представлена в виде таблицы 6.12.

Таблица 6.12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
Определены отрасли и технологии для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	4
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	3
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
Разработан план коммерциализации научной разработки	2	3
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
Разработана стратегия реализации научной разработки	4	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2

Продолжение таблицы 6.12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	Итого баллов	48	52

Сумма баллов от 59 до 45 соответствует перспективности коммерциализации выше среднего. Для повышения степени необходима работа с теоретическим и практическим материалом, а также взаимодействие с консультантами в слабо проработанных областях листа оценки.

6.1.7 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Среди методов коммерциализации результатов НТИ в данном проекте могут использоваться торговля патентными лицензиями для подобных предприятий и научно-технических отделов. Также возможна продажа лицензий на изготовление частей системы устаревших модификаций фирмам-конкурентам с сокрытием передовых разработок. Инжиниринг предприятий также входит в число потенциальных направлений развития данного проекта. Вследствие широкого спектра потенциальных потребителей данный рынок видится наиболее перспективным для коммерциализации. Постепенное обновление ресурсов предприятий-потребителей способствует долгосрочности развития данного направления. В комплексе с перечисленными направлениями в перспективе возможно открытие собственного предприятия либо совместного предприятия для работы на международных рынках. Среди ближайших стран-потенциальных партнеров можно выделить Белоруссию, Казахстан, Боснию и Герцеговину и Чехию.

6.2 Инициация проекта

На стадии инициации проекта определяются начальные цели и доступные ресурсы для выполнения проекта. Определяются заинтересованные в проекте стороны. Эти участники проекта оказывают совместное влияние на его развитие и успех. Информация заносится в Устав проекта.

Устав проекта магистерской работы включает следующие пункты:

1. Цели и результат проекта.

В данном разделе приводится необходимая информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей. К числу заинтересованных сторон относятся лица или организации, участвующие в процессе выполнения проекта или интересы которых проект он затрагивает. Информация о заинтересованных сторонах проекта представлена в табл. 6.13.

Таблица 6.13 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчик	Готовая система подготовки многокомпонентных газопарокапельных смесей
Исполнитель	Опыт в разработке и реализации проектов, финансовое вознаграждение
Спонсоры	Возврат вложенных средств и извлечение прибыли
Руководитель	Опыт в разработке и реализации проектов, финансовое вознаграждение, выполнение показателей эффективного контракта
Учебное заведение	Реклама ВУЗа, новые партнерские отношения с предприятиями

В таблице 6.14 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 6.14 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка ресурсоэффективной автоматизированной системы подготовки многокомпонентных газопарокапельных смесей
Ожидаемые результаты проекта:	Разработан пакет конструкторской документации и программного обеспечения для управления системой
Критерии приемки результата проекта:	Проведены научные изыскания по теме проекта Выполнен расчет технической части системы Подготовлен расчет экономической проекта
Требования к результату проекта:	Требование:
	Оригинальность проекта не менее 75 %
	Завершение работы над проектом до 3.06.2020
	Документация проекта выполнена в соответствии с ЕСКД
	Защищена магистерская диссертация по проекту

2. Организационная структура проекта.

В этом разделе определяются основные участники проекта и их роли. Каждому участнику прописываются его функции и обязанности, а также трудозатраты в рамках проекта. Информация представляется в табличной форме (табл. 6.15).

Таблица 6.15 – Рабочая группа проекта

№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
1	Стрижак П.А., НИ ТПУ	Руководитель проекта	Координация и проверка деятельности исполнителя	72
2	Ткаченко П.П., НИ ТПУ	Исполнитель по проекту	Проведение экспериментальных исследований, разработка конструкторской документации и защита проекта	784
3	Спицына Л.Ю., НИ ТПУ	Эксперт проекта	Проверка раздела «Финансовый менеджмент»	16

Продолжение таблицы 6.15 – Рабочая группа проекта

3	Романова С.В., НИ ТПУ	Эксперт проекта	Проверка раздела «Социальная ответственность»	16
4	Костомаров П.И., НИ ТПУ	Эксперт проекта	Проверка раздела, выполняемого на иностранном языке	8
Итого:				896

3. Ограничения и допущения проекта.

К ограничениям проекта относятся все факторы, ограничивающие свободу исполнителей проект и условные границы, отсекающие то, что в рамках проекта не должно быть реализовано.

Таблица 6.16 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	Не более 2000000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ООО «Добыча Ямбург»
3.2. Сроки проекта:	6.02.2020–31.12.2020
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	6.02.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	31.12.2020
3.3. Прочие ограничения и допущения	защита диссертации по проекту не позднее 30.06.2020; разработка проекта на базе НИ ТПУ до 3.06.2020

6.3 Планирование работ и оценка времени выполнения

6.3.1 Иерархическая структура работ проекта

При планировании работ необходимо учитывать процессы для определения содержания запланированных работ, требуемых для успешной реализации проекта.

Для удобства представления работ используют графическое представление в виде иерархической структуры работ. С помощью данного графического исполнения структурируется и определяется содержание проекта. Иерархическая структура представлена на рисунке 6.4.

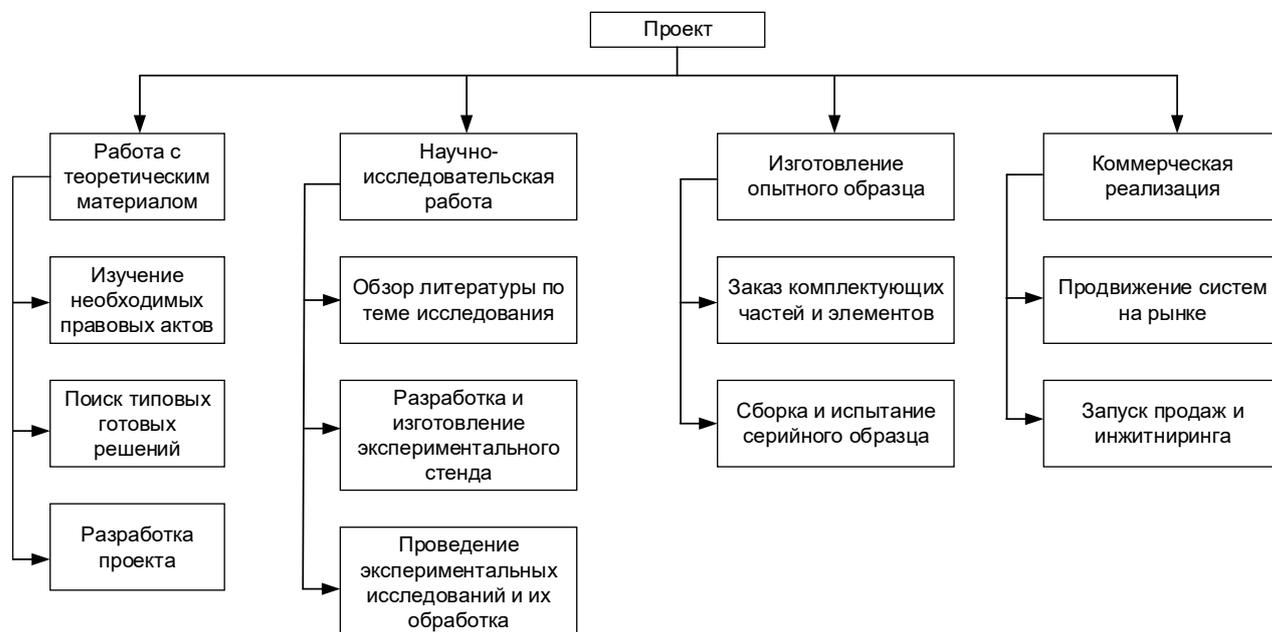


Рисунок 6.4 – Иерархическая структура работ по проекту

6.3.2 Контрольные события проекта

В рамках текущего раздела определяются ключевые события, их даты и результаты, достигаемые в эти даты. Информация представлена в табл. 6.17.

Таблица 6.17 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Получение задания	6.02.2020	Задание для выполнения диссертации
2	Работа с теоретическим материалом	16.02.2020	Нормативные и правовые акты, типовые решения
3	Научно-исследовательская работа	25.03.2020	Фундаментальные данные о процессах измельчения жидкостей и поведении капель в окружающей среде с различными параметрами

Продолжение таблицы 6.17 – Контрольные события проекта

4	Написание магистерской диссертации	3.06.2020	Магистерская диссертации
5	Защита диссертации	17.06.2020	Диплом магистра
6	Изготовление опытного образца	31.10.2020	Опытный образец

6.3.3 План проекта

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

В таблице 6.18 представлены все виды выполняемых работ и время, затраченное на их выполнение.

Таблица 6.18 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Разработка и получение задания	1	1.02.2020	1.02.2020	Стрижак П.А., Ткаченко П.П.
Обзор литературы по теме исследования	5	2.02.2020	6.02.2020	Ткаченко П.П.
Проектирование макета экспериментальной установки	3	7.02.2020	9.02.2020	Стрижак П.А., Ткаченко П.П.
Закупка материалов, необходимых для сбора экспериментальной установки	1	10.02.2020	10.02.2020	Ткаченко П.П.
Сборка установки и настройка системы	4	11.02.2020	14.02.2020	Ткаченко П.П.
Проведение экспериментальных исследований, направленных на изучение распределения скоростей и размеров частиц	30	15.02.2020	17.03.2020	Ткаченко П.П.
Анализ результатов исследования	7	18.03.2020	25.03.2020	Стрижак П.А., Ткаченко П.П.

Продолжение таблицы 6.18 – Календарный план проекта

Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	11	26.03.2020	5.04.2020	Ткаченко П.П.
Разработка принципиальной электрической схемы	9	6.04.2020	14.04.2020	Стрижак П.А., Ткаченко П.П.
Разработка монтажной схемы и щита управления	6	15.04.2020	20.04.2020	Ткаченко П.П.
Разработка схемы взаимодействия уровней управления	1	21.04.2020	21.04.2020	Ткаченко П.П.
Проектирование мнемосхемы	8	22.04.2020	30.04.2020	Ткаченко П.П.
Оформление пояснительной записки ВКР	10	1.05.2020	10.05.2020	Ткаченко П.П.
Проверка ВКР	20	11.05.2020	30.05.2020	Стрижак П.А., Ткаченко П.П.
Итого:	98	1.02.2020	30.05.2020	

Для иллюстрации календарного плана проекта используется диаграмма Ганта. На диаграмме работы представлены в виде протяженных по времени отрезков, характеризующих даты начала и окончания выполнения работ.

График строится в виде табл. 6.19 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения проекта.

Продолжение таблицы 6.19 – Календарный план-график проведения НИОКР

Проектирование мнемосхемы	Ткаченко П.П.	8															
Оформление пояснительной записки ВКР	Ткаченко П.П.	10															
Проверка ВКР	Стрижак П.А., Ткаченко П.П.	20															

 – руководитель

 – инженер

6.4 Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (6.1)$$

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

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

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

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

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

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

6.4.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на закупку материалов для построения экспериментальной установки. Величину этих затрат принимаем 100000 руб. Стоимость персонального компьютера для выполнения работ принимаем 30000 руб.

6.4.2 Затраты на амортизацию

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

Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad \text{руб./год}, \quad (6.2)$$

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

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

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

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

$$K_{\text{ам}} = \frac{98}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1611 \text{ руб./год.}$$

6.4.3 Затраты на заработную плату

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

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \quad (6.3)$$

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

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

Месячный оклад:

$$ЗП_{инж}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.4)$$

$$ЗП_{нр}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.5)$$

где $ЗП_{инж}^м$ – месячная заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^м$ – месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$ – месячный оклад (инженер 17000 руб, научный руководитель 30000 руб);

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

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

$$ЗП_{инж}^м = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб},$$

$$ЗП_{нр}^м = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб}.$$

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (6.6)$$

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

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

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

Инженер:

$$ЗП_{\text{инж}}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 98 = 113447 \text{ руб.}$$

Научный руководитель

$$ЗП_{\text{нр}}^{\phi} = \frac{42900}{21} \cdot 9 = 18386 \text{ руб.}$$

$$К_{з/пл} = 113447 + 18386 = 131833 \text{ руб.}$$

6.4.4 Затраты на социальные нужды

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

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

$$К_{\text{соц/н}} = К_{з/пл} \cdot 0,32, \quad (6.7)$$

$$К_{\text{соц/н}} = 131833 \cdot 0,32 = 39550 \text{ руб.}$$

6.4.5 Прочие затраты

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

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1, \quad (6.8)$$

$$K_{\text{пр}} = (130000 + 1611 + 131833 + 39550) \cdot 0,1 = 30299 \text{ руб.}$$

6.4.6 Накладные расходы

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

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

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \quad (6.9)$$

$$K_{\text{накл}} = 131833 \cdot 2 = 263666 \text{ руб.}$$

В таблице 6.20 представлена смета затрат на проект.

Таблица 6.20 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	130000
Амортизация компьютерной техники	1611
Затраты на заработную плату	131833
Затраты на социальные нужды	39550
Прочие затраты	30299
Накладные расходы	263666
Итого:	596959

6.5 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 6.21 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 6.21 – Смета затрат на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК Simens S7-1200 (компл.)	378654	1
Датчик давления Элемер-100 ДВ	3835	1
Датчики температуры Элемер ТСМУ-205	1500	2
Датчики температуры Элемер ТП-0395/2	2500	1
Расходомер Flonet FN20XX.1	15700	1
Преобразователь давления Элемер-100 ДД	20700	1
МЭО-250/25-0,25-99К	19000	1
МЭПК-800/63-40Х-99	15000	1
Насос циркуляционный	30000	2
Блок управления БУЭР 1-30-02	20000	2
МГРТП-001	1900	8
Провод КИПЭВ 2х0,6	180	1
Провод КРВГ 4х1	1580	1
Провод КРВГ 14х1,5	2600	1
Провод АКРВБГ 4х2.5	3500	1
Компьютер	35000	1
Итого	586449	17

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

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot K_{\text{обор}}, \quad (6.10)$$

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

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 586449 = 117334 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения на оборудование, транспортировку и монтажные работы составили:

$$K_{\text{итог}} = K_{\text{обор}} + K_{\text{монт}} = 586449 + 117334 = 704003 \text{ руб.}$$

6.6 Определение экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_T^k - I_T^p, \quad (6.12)$$

где I_T^k – издержки при использовании продукции «ПТК «НИКА»;

I_T^p – издержки при использовании предлагаемой системы.

$$I_{до} = B \cdot Ц, \quad (6.13)$$

$$I_{после} = B \cdot Ц, \quad (6.14)$$

где B – расход энергоресурсов;

$Ц$ – цена топлива за тонну.

Для типового проекта «ПТК «НИКА» на один цикл разморозки требуется в среднем 6–8 часов. Потребляемая установкой мощность около 120 кВт. Итого, на один цикл разморозки требуется порядка 720–960 кВт·ч электроэнергии. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии для средних предприятий в Томской области составляет 7,32 руб. Работа размораживающей установки с ноября по февраль происходит в круглосуточном режиме, в октябре, марте и апреле с нагрузкой в половину максимальной мощности. Итого получается в среднем в год система производит 405 циклов разморозки. Потребляемая мощность разработанной системы около 70 кВт. В том же режиме работы на один цикл разморозки данной системе потребуется 420–560 кВт·ч электроэнергии. В таком случае тариф на 1 кВт·ч электроэнергии в Томской области составляет 5,38 руб.

$$I_{до} = 960 \cdot 6,32 \cdot 405 = 2457216 \text{ рублей в год}$$

$$I_{после} = 560 \cdot 5,78 \cdot 405 = 1310904 \text{ рублей в год,}$$

$$\mathcal{E} = 2846016 - 915138 = 1146312 \text{ рублей в год,}$$

Реализация данного проекта потребует больших капиталовложений, которые пойдут на разработку проекта, приобретение технических средств и оборудования и их монтаж. Использование такого проекта на типовом предприятии будет являться экономически эффективным, показатель

экономической эффективности составил 1146312 в год или 21 % от текущих издержек.

6.7 Реестр рисков проекта

При разработке, производстве и реализации данного проекта могут произойти различные события, представляющие собой угрозу успешной его реализации и при возникновении этих событий, могут повлечь за собой нежелательные негативные эффекты.

Перечень возможных событий, а также вероятность их возникновения оценена и представлена в таблице 6.22.

Таблица 6.22 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения	Условия наступления
1	Изменение законодательства	Возможные ограничения использования системы	3	4	Ср	Модернизация системы	Ухудшение экологической обстановки
2	Падение курса валют	Удорожание проекта	4	4	Ср	Поиск альтернативных комплектов	Экономический или политический кризис
3	Научно-техническая революция	Устаревание системы	1	5	Низк	Актуализация системы	Новое революционное открытие
4	Потеря данных о проекте	Отсутствие информации о разработке	5	5	Выс	Создание резервных копий	Несчастный случай или чрезвычайная ситуация
5	Расторжение договора о поставках	Отсутствие необходимых комплектующих	3	5	Ср	Поиск альтернативных поставщиков	Выгодное конкурентное предложение

Иерархическая структура рисков проекта приведена на рис. 6.5.

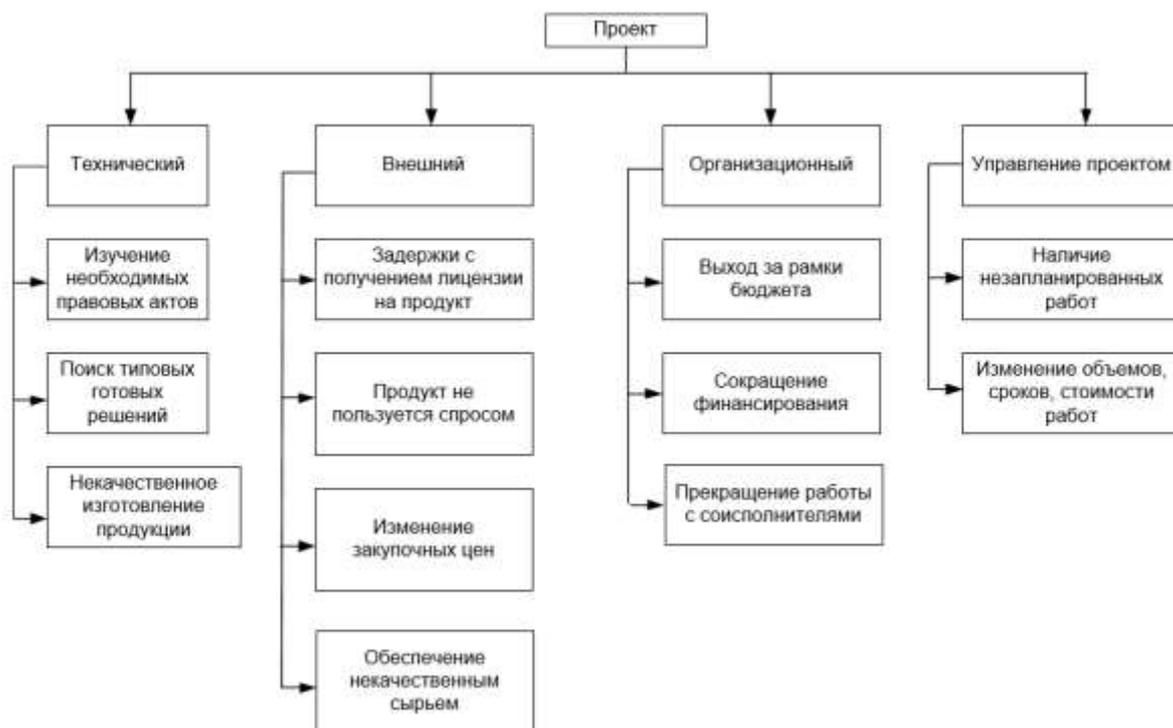


Рисунок 6.5 – Иерархическая структура рисков по проекту

6.8 Оценка сравнительной эффективности исследования

Эффективность определяется путем расчета интегрального показателя эффективности исследования. Его определение осуществляется с помощью двух величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности исследования рассчитывается при оценке расходов на выполнение не менее трех вариантов исполнения научного исследования (табл. 6.23). Наибольший интегральный показатель реализации технической задачи при этом берется за знаменатель, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi} = \Phi_{pi} / \Phi_{max},$$

где I_{ϕ} - интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется как:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводится в форме таблицы 6.23.

Таблица 6.23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО / Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1 (ПИКСАН)	Аналог 2 («ПТК «НИКА»)
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	3	4
4. Энергосбережение	0,2	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	3	4	4
ИТОГО	1			

$$I_{\text{тп}}=3,95$$

$$\text{Аналог 1}=3,8$$

Аналог 2=3,65

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{mэ}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{mэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 6.24 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,87	0,9
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3,65	3,95
Интегральный показатель эффективности	3,8	4,2	4,4
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,16	1,05	1

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ82	Ткаченко Павлу Петровичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	им. И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Автоматизированная система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси для технических нужд	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: автоматизированная система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси. Рабочая зона: операторная; технологические помещения работы автоматизированной системы. Область применения: предприятия теплоэнергетики; строительства; тяжелой, легкой и пищевой промышленности.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ – ГОСТ 21958-76. – ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. – Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – превышение уровня шума; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – превышение уровня вибрации; – отклонение показателей микроклимата;
3. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия выбросов и испарений на атмосферу; – анализ воздействия твердых и жидких отходов на литосферу; – разработать решения по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – разработка действий персонала при пожаре; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Ткаченко Павел Петрович		

7 Социальная ответственность

В данной работе спроектирована система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси для технических нужд. Данная система предполагает установку на тепловых станциях, котельных и других технических объектах. Работа осуществляется в полуавтоматическом режиме. Использование данной системы на практике является очень актуальным, так как при ее применении увеличится скорость разморозки материалов и повысится эффективность работы. Пользователями данной системы могут выступать государственные компании и частные предприниматели. Одной из сфер применения системы являются тепляки для разморозки веществ в железнодорожных вагонах. При ее внедрении уменьшится количество необходимого персонала и снизится расход тепловой энергии.

Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который будет отслеживать расход компонентов смеси, режимы работы и осуществлять обслуживание системы. Место работы оператора находится в отапливаемом помещении, установленном на виброгасительные подставки. Для защиты от шума стены помещения покрыты шумоизоляцией. Поддержание микроклимата в операторной осуществляется с помощью микроклиматической системы, позволяющей регулировать температуру и влажность в помещении. Рабочее место оператора оборудовано персональным компьютером для выполнения его прямых обязанностей.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция, т. е. законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей [78, 79]. Существуют принятые нормы в области охраны труда:

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

Комплексная инженерная деятельность руководителя на каждом предприятии всегда должна учитывать три уровня социальной ответственности за решения, которые он принимает для исполнения федерального законодательства и нормативных правовых актов в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Первый уровень, также базовый, является обязательной составляющей социальной ответственности и включает выполнение следующих обязательств: производить своевременную оплату налогов, выплату заработной платы, по возможности производить увеличение рабочего штата.

Второй уровень социальной ответственности предприятия подразумевает применение инструментов, которые направлены на улучшение качества внутренней среды для сотрудников предприятия. Например - возможности для повышения квалификации, обеспечение жильём.

Третий уровень – это наивысший уровень ответственности, который предполагает деятельность, направленную на повышение качества жизни населения, развитие общества, на территории, где функционирует предприятие.

7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Оператор обязан проходить инструктаж по технике безопасности раз в 3 месяца, также соблюдать правило пожарной безопасности [80], не оставляя работающую систему без присмотра. Предприятие, к которому относится система, должно обеспечить оператора спецодеждой, спец-обувью и другими средствами индивидуальной защиты [81]. Остановка системы во всех случаях, кроме аварийной остановки, должна производиться после получения на это распоряжения администрации предприятия. В конце рабочего дня оператору

необходимо сдать дежурство, сделав отметку в журнале. Также, оператору должны выдаваться средства индивидуальной защиты дыхательных путей (респираторы, полу- или полнолицевые маски) [81].

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Каждый работник имеет право на охрану труда [77], в том числе:

- 1) на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов;
- 2) на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей;
- 3) на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

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

7.2 Производственная безопасность

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

Система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси рассчитана на круглогодичную эксплуатацию. Однако основная нагрузка на нее будет приходиться на зимний период. В весенне-осенний период нагрузка на систему будет снижаться. В летнее время система будет работать с минимальной нагрузкой, в основном на вспомогательных нуждах предприятия. Без ее использования время ожидания разморозки сыпучих веществ может достигать нескольких суток, что значительно увеличивает капитальные

затраты. Также расходуется большое количество электроэнергии с низкой эффективностью. Долгое тепловое воздействие может негативно сказываться на окружающую среду. Также при стандартной технологии разморозки в воздух может подниматься большое количество пыли. При подаче многокомпонентной газопарокапельной смеси количество пыли значительно снизится из-за повышения влажности и орошения жидкостью. Правильное регулирование расхода пара и дымовых газов помогут снизить их негативное влияние на окружающую среду. В данной системе возможно использование уходящих дымовых газов основного производства. Это позволит снизить выбросы от дополнительного котельного агрегата. Нагрев жидкости и подготовка пара также может происходить совместно с основным технологическим процессом, например на теплоэлектростанции. Социальной составляющей, при переходе на такую систему, будет являться снижение цены для потребителей на конечные продукты производства.

В таблице 7.1 приведены возможные вредные и опасные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [82], возникающие при выполнении работ.

Таблица 7.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разрабо тка	Эксплуа тация	
1. Превышение уровня шума		+	1. ГОСТ 12.1.003.2014 – Система стандартов безопасности труда. Шум [83].
2. Воздействие электромагнитного поля	+	+	2.ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [84].
3.Превышение уровня общей вибрации		+	3. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [85].
4.Отклонение показателей микроклимата	+	+	4.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [86]. 5. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования [87].

7.2.2 Превышение уровня шума

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

Вопрос уровня шума на рабочих местах на самом деле очень важен. Повышенный шум является причиной ухудшения слышимости, преждевременной утомляемости человека, исследования доказывают, что под влиянием шума производительность труда снижается на 10%, шум уменьшает зрительную реакцию, что вместе с утомляемостью резко увеличивает вероятность ошибок при работе. Исходя из этих данных, установлены санитарные нормы допустимого уровня шума в местах эксплуатации установок. Соответственно, несоблюдение установленных норм накладывает некоторые ограничения на эксплуатацию системы подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси.

Воздействие шума с уровнем выше 140 дБ на организм человека приводит к разрыву барабанных перепонки и летальному исходу ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [83].

Источником шума в системе подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси является привод мешалки, который периодически проводит перемешивание компонентов смеси, а также насос для прокачки готовой жидкости к форсункам. Помещение, в котором установлено данное оборудование, является с временным присутствием персонала. Основное рабочее место оператора – АРМ, который отдален от технологического оборудования с целью снижения негативного воздействия на организм человека. На установках генерации (ГРЭС, ТЭЦ) приняты следующие нормативы по максимальному уровню шума в местах постоянного пребывания персонала (АРМ оператора), данный норматив составляет 75 дБ. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие

которых основано на изоляции и поглощения шума. Для коллективной защиты персонала от шума используют защитные экраны и ограждения, в некоторых случаях применяют звукопоглощающие облицовки или штучные звукопоглотители.

7.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электробезопасность – это совокупность технических и организационных средств и мероприятий, которые обеспечивают защиту человека от опасного и вредного для жизни воздействия статического электричества, электрической дуги, электрического тока и электромагнитного поля [84].

Насосы систем подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси, электрифицированные задвижки, как и любое электрооборудование, требует повышенной осторожности в процессе использования. Причиной поражения током чаще всего является прикосновение к токопроводящим (металлическим) деталям оборудования, которые находятся под напряжением, либо по какой-либо причине лишились изоляции. Поэтому главным правилом безопасности является применение при работе с такими поверхностями специальных изолирующих средств (таких как резиновые перчатки или галоши), заземление (зануление) оборудования, либо предварительное его отключение.

Правила эксплуатации насосов:

1) для предотвращения поражения электрическим током не прикасаться к выходным клеммам во время эксплуатации;

2) монтаж проводов производится исключительно при выключенном автоматическом прерывателе и полной остановке оборудования, поскольку даже работающий на холостом ходу генератор вырабатывает опасное напряжение;

3) производить все работы только сухими руками, либо использовать защитные резиновые перчатки;

4) перед началом эксплуатации важно убедиться, что фиксирующие болты затянуты, а панель управления и боковые дверцы генератора закрыты.

В зависимости от условий производственной среды, в соответствии с «Правилами устройства электроустановок», все помещения классифицируются по опасности поражения людей электрическим током на три группы. В соответствии с данной классификацией, территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Для предотвращения поражения электрическим током персонала, обслуживающего автоматизированную систему, а также операторов проводится ряд мероприятий, предупреждающих поражение электрическим током:

- 1) применение малого напряжения;
- 2) выбор и установка электрооборудования в соответствии с условиями окружающей среды;
- 3) ограждение токоведущих частей электрооборудования;
- 4) устройство заземления или зануления всех металлических конструкций, которые могут оказаться под напряжением, а также применение защитного отключения;
- 5) применение защитных средств при обслуживании электроустановок;
- 6) организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность производства работ.

7.2.4 Превышение уровня вибрации

Для уменьшения воздействия вибраций на организм человека необходимо также проводить ряд мероприятий.

В проектируемой системе подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси имеются следующие источники вибраций: промышленный насос, мешалка, установленные в помещении с временным пребыванием персонала.

Интенсивность вибраций деталей агрегатов, имеющих большие излучающие шум поверхности (корпуса агрегатов, кожухов, крышек и т. п.), следует уменьшать путем [85]:

1) облицовки этих поверхностей или заполнения специально предусмотренных в них воздушных полостей демпфирующими виброизоляционными материалами;

2) устройства гибких связей (упругих прокладок, пружин) между этими деталями и узлами агрегата, вызывающих вибрации;

3) замены металлических деталей деталями из пластмасс или других невibrating материалов;

4) предусмотренные минимальные допуски при изготовлении и сборке деталей агрегата для уменьшения зазоров в сочленениях деталей и тем самым уменьшения энергии соударений;

5) 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.);

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

Длительная эксплуатация агрегатов на объектах генерации (ГРЭС, ТЭЦ) допускается при вибрации подшипниковых опор, не превышающей 11,2 мм/с. При проведении мероприятий по уменьшению вибраций агрегатов (насоса и гомогенизатора), с учетом того, что место постоянного пребывания персонала отделено от вышеупомянутых агрегатов, воздействие вибраций на персонал будет практически отсутствовать.

7.2.5 Отклонение показателей микроклимата

Под состоянием воздушной среды понимаются метеорологические условия в рабочем помещении. Метеорологические условия определяются следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) скорость движения воздуха на рабочем месте;
- 3) относительная влажность.

Данные показатели должны обеспечивать оптимальные и комфортные условия для человека в помещении на протяжении его рабочей смены. Нормативами приводятся оптимальные допустимые значения параметров микроклимата [86].

Для уменьшения влажности, а также поддержания комфортной температуры в помещении устанавливаются вентиляционные системы. Воздух, всасываемый вентиляторами из атмосферы, после очистки и подогрева поступает в специальные каналы, называемые воздуховодами, и разводится по производственному помещению. Такая вентиляция называется приточной. Нагретый воздух из помещения, содержащий водяные пары, отводится из помещения с помощью системы вытяжной вентиляции.

При отсутствии в основном технологическом процессе парогенератора или водогрейного котла необходима установка вспомогательного котельного агрегата. Опасным фактором, при использовании котла, является количество выбросов, как в атмосферу, так и в помещение, где установлен агрегат. Для уменьшения количества концентрации выбросов проводят операции: установка очистительного оборудования для дымовых газов, герметизация технологических отверстий котельного агрегата, добавление, способствующих снижению концентрации выбросов, составляющих топлива.

Так как для получения дымовых газов необходимо сжигание топлива, то в помещении котельной, нужна вентиляция, для обеспечения нормальных условий работы персонала. Также вентиляция позволит решить проблему повышенной влажности. Для защиты от высокой температуры, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда.

7.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды – изменение естественного состава элементов окружающей среды (воздуха, воды, земель и лесов) в результате деятельности человека. Оно приводит к ухудшению условий жизни населения, существования животного и растительного мира.

В соответствии с ГОСТ Р 54906—2012 [87] при проектировании и эксплуатации требуется учитывать возможное негативное воздействие системы на экологию (экологические аспекты).

7.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

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

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

7.3.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду

Антропогенные выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ – один из основных факторов, обуславливающих изменение химического состава атмосферы и ее теплового баланса. 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.

7.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Одно из важнейших отрицательных влияний, которые может оказать система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси на окружающую среду – протечка пластификатора, поверхностно-активных веществ или других возможных добавок, которые используются в составе смеси.

Улавливание сернистых соединений в выбросах тепловых станций и различных производств является одним из наиболее сложных и трудоемких процессов по следующим причинам: количество выбрасываемых газов очень велико; поглощение сернистых соединений сопровождается отложением солей кальция и магния на стенках труб, т.е. забиванием аппаратуры. Сероочистка угля и мазута разработана недостаточно и применяется в ограниченном объеме. Поэтому в мировой практике, как правило, очищают от серы дымовые газы, для чего применяют различные процессы. Их можно разделить на три главные группы: процессы с применением жидких поглотителей – абсорбционные (мокрые) и процессы, основанные на взаимодействии газа с твердым веществом – адсорбционные и каталитические (сухие). Преимущественно в этих процессах поглотителем служат известняк или известь. В данной работе предлагается использование мокрых абсорбционных процессов и электрических фильтров.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Опасными событиями, которые могут оказать влияние на пожаробезопасность обслуживающего персонала энергокомплекса, могут быть пожары и аварии на оборудовании системы. В соответствии с ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [88] должны применяться меры по минимизации воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, возникающих в результате взрыва (пожара).

Подрядчик отвечает за пожарную безопасность при работе на рабочих участках, включая офисы, инструментальные кладовые и склады.

Подрядчик обязан обеспечить наличие утвержденного пожарного оборудования, а его работники должны быть обучены работе с таким оборудованием.

Ответственность за организацию и обеспечение пожарной безопасности при строительстве возлагается в целом на руководителя строительного предприятия, который наряду с выполнением общих требований пожарной безопасности обязан:

- 1) обеспечить соблюдение работниками Правил и инструкций по пожарной безопасности и не допускать к работе лиц, не прошедших противопожарный инструктаж и не сдавших зачеты по программе пожарно-технического минимума;

- 2) назначить ответственных лиц за пожарную безопасность на каждом производственном участке. Таблички с указанием лица, ответственного за пожарную безопасность должны быть вывешены на видных местах;

- 3) обеспечить в производственных и административных зданиях, помещениях, а также на территории объекта установленный противопожарный режим, оборудовать места для курения, обеспечить четкий порядок проведения строительных и огневых работ, порядок осмотра и закрытия помещений после окончания работы;

4) обеспечить постоянную готовность к работе систем пожаротушения, имеющихся на объекте и средств связи;

5) обеспечить немедленный вызов пожарных подразделений в случае пожара или опасности его возникновения при аварии;

б) одновременно приступить к ликвидации пожара или аварии имеющимися в наличии силами и средствами.

На эксплуатационной площадке опасных объектов должны находиться следующие первичные средства пожаротушения [89]:

1) пожарная автоцистерна объемом не менее 2000 л, заправленная водой и пенообразователем не менее 150 л.;

2) асбестовое полотно размером 2х2 м – 2 шт.;

3) огнетушители ОП-10 или ОУ-10 – 10 шт. (или ОП-100 – 1 шт.);

4) лопат – 2 шт.;

5) ломов – 2 шт.;

6) багров – 2 шт.;

7) крюк с деревянной рукояткой – 1 шт.;

8) ведра – 2 шт.

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

1) укрытие в защитных сооружениях;

2) проведение эвакуационных мероприятий;

3) использование средств индивидуальной защиты.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние баков компонентов смеси, на наличие протечек и повреждений, путем осмотра их персоналом, так как протекающие жидкости могут служить причиной замыкания проводки и возгорания. Также некоторые компоненты смеси при испарении под действием высокой температуры могут выделять вредные вещества. А также во избежание нарушений противопожарных правил на производстве необходимо проводить инструктаж и воспитательные работы с

персоналом, вводить систему наказаний и штрафов за подобного рода нарушения.

Особое внимание при монтаже оборудования автоматизации необходимо уделить качеству проводимых работ. Выполненный не по заводским требованиям монтаж может привести к утечкам компонентов смеси, что в свою очередь может привести к возгоранию или загрязнению окружающей среды. Поэтому монтаж должен осуществляться слесарями КИПиА с соответствующим разрядом и допусками по электробезопасности.

В соответствии с СНиП 21-01-97 [90] администрацией здания должны быть разработаны противопожарные мероприятия.

Для проведения противопожарных мероприятий необходимо:

- 1) обеспечить безопасность людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения;
- 2) допускать персонал к работе только после инструктажа, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж;
- 3) при желании и необходимости создавать пожарно-технические комиссии или добровольные пожарные дружины;
- 4) в каждом рабочем помещении на видном месте размещать таблички с номером вызова пожарной охраны;
- 5) 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;
- 6) регламентировать порядок проведения пожароопасных работ, осмотра и закрытия помещений, действий коллектива при возникновении пожара. Назначить ответственного за инструктирование и проведение занятий по противопожарной безопасности, определить время проведения занятий;
- 7) при нахождении более чем 10 человек на этаже утвердить и повесить на видном месте план/схему эвакуации, установить систему оповещения.

7.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

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

Преимуществом данной разработки является автоматизация подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси. Автоматизированная система уменьшит количество обслуживающего персонала в отличие от привычной системы. С экологической точки зрения внедрение данной системы способствует уменьшению количества выбросов и расход ресурсов.

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

- 1) в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- 2) выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве;
- 3) указаны методики и средства борьбы с этими факторами;
- 4) описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;
- 5) отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

Социальная роль разработки системы подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси – снижение пагубных факторов на окружающую среду и снижение итоговой стоимости продукции для населения.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана автоматизированная система подготовки многокомпонентной газопарокапельной смеси для технологических нужд.

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

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

Спроектирован и собран стенд для экспериментальных исследований влияния вязкости, поверхностного натяжения и температуры жидкости на последствия столкновения одиночных капель и зависимостей исходов столкновения от различных параметров. Построены карты режимов взаимодействия капель и представлены основные выводы по результатам экспериментальных исследований.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки конструкторской документации и мнемосхемы. Кроме того, произведен расчет параметров настройки регулятора и определены прямые оценки качества, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В приложении А приводится выполнение части ВКР (экспериментальные исследования) на английском языке.

Основные публикации автора магистерской диссертации:

1. T.R. Valiullin, J.C. Legros, P.P. Tkachenko, Statistical Analysis of Consequences Caused by the Collisions of Soaring Drops of Organic Coal-Water Fuel, in: MATEC Web Conf., 2016.
2. Зайцев А. С., Егоров Р. И., Ткаченко П. П., Белоногов М. В. Газификация водоугольных композиций лазерными импульсами различной интенсивности // Химия твердого топлива. 2019. №. 1. С. 54-60.
3. Зайцев А. С., Ткаченко П. П., Белоногов М. В., Егоров Р. И. Светоиндуцированная газификация топливных композиций, приготовленных из отходов углепереработки. Кокс и химия. 2018. №. 7. С. 43-51.
4. A.S. Zaytsev, P.P. Tkachenko, M.V. Belonogov, R.I. Egorov, Light-Induced Gasification of Fuels Prepared from Coal-Enrichment Wastes, Coke Chem. 61 (2018).
5. A.S. Zaitsev, R.I. Egorov, P.P. Tkachenko, M.V. Belonogov, Gasification of Coal–Water Compositions by Laser Pulses of Various Intensity, Solid Fuel Chem. 53 (2019).
6. N.E. Shlegel, P.P. Tkachenko, P.A. Strizhak, Collision of water droplets with different initial temperatures, Powder Technol. 367 (2020) 820–830.
7. R.I. Egorov, P.P. Tkachenko, R.I. Taburchinov, A.O. Chulkov, The propagation and ignition of the finely dispersed coal-water aerosol, Fuel. 263 (2020).
8. A. V Demidovich, S.S. Kralinova, P.P. Tkachenko, N.E. Shlegel, R.S. Volkov, Interaction of Liquid Droplets in Gas and Vapor Flows, Energies. 12 (2019).
8. N.E. Shlegel, P.P. Tkachenko, P.A. Strizhak, Influence of viscosity, surface and interfacial tensions on the liquid droplet collisions, Chem. Eng. Sci. 220 (2020) 115639.

Список использованных источников

1. Бухаркин, Е.Н. Анализ параметров комплексной установки по теплоутилизации и газоочистке для паровых котлов / Е.Н. Бухаркин // Теплоэнергетика. – 1995. – № 5. – С. 57–61.
2. Бухаркин, Е.Н. К методике теплового расчета конденсационных утилизаторов тепла уходящих газов / Е.Н. Бухаркин // Теплоэнергетика. – 1997. – № 2. – С. 41–46.
3. Волков, Р.С. Особенности перемещения и испарения капель воды в контактных водонагревателях / Р. С. Волков, Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак // Теплоэнергетика. – 2016. – № 9. – С. 68–75.
4. Закревский, В.А. Контактный нагрев воды уходящими газами в газовых котлах / В.А. Закревский // Энергетика вестник БНТУ. – 2007. – № 3. – С. 54–62.
5. Жихарг, Г.И. Повышение эффективности использования газообразного топлива на котлах за счет применения контактных экономайзеров / Г.И. Жихарг, В.А. Закревский // Теплоэнергетика. 2007. – № 2. – С. 39–36.
6. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Анализ влияния начальной температуры распылённой воды на интегральные характеристики её испарения при движении через зону «горячих» газов // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87, № 2. С. 436–444.
7. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование полноты испарения распыленной воды при ее движении через пламя // Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 10. С. 15–24.
8. Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Численное исследование тепломассопереноса при движении «тандема» капель воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. 2012. № 12. С. 531–538.
9. Гришина А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. – 408 с.

10. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 301 с.
11. Damaschke N., Nobach H., Tropea C. Optical limits of particle concentration for multi-dimensional particle sizing techniques in fluid mechanics // *Experiments in Fluids*. 2002. V. 32, № 2, P. 143–152.
12. Kuznetsov G.V., and Strizhak P.A. Effect of the volume concentration of a set of water droplets moving through high-temperature gases on the temperature in the wake. *J. Appl. Mech. Tech. Phys.* 2015. Vol. 56. Pp. 558–568.
13. Никитин, М.А. Повышение энергоэкологической эффективности тепловых технологий за счет использования генераторов газопаровых теплоносителей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.04 / Никитин Максим Николаевич. Саратов, – 2012. – 165 с.
14. Никитин, М.А. Использование газопаровой смеси при сжигании топлива / М.А. Никитин // *Промышленная энергетика*. – 2010. – № 12. – С. 37–42.
15. Никитин, М.А. Диаграммы энтальпий газопаровых смесей / М.А. Никитин, А.И. Щелоков // *Вестник Самарского гос. техн. ун-та: Серия техн. Науки*. – 2011. – № 1. – С. 227–232.
16. Балабеков, О.С. Очистка газов в химической промышленности. Процессы и аппараты / О.С. Балабеков, Л.Ш. Балтабаев. – М.: Химия, 1991. – 256 с.
17. Веселов, Ю.С. Водоочистное оборудование / Ю.С. Веселов, И.С. Лавров, И.С. Рукобратский. – Л.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
18. Высокоморная, О.В. Прогностическое определение интегральных характеристик испарения капель воды в газовых средах с различной температурой / О.В. Высокоморная, Г.В. Кузнецов, П.А. Стрижак // *Инженерно-физический журнал*. – 2017. – Т. 90, № 3. – С. 648–657.
19. Suzuki Y, Harada T, Watanabe H, Shoji M, Matsushita Y, Aoki H, et al. Visualization of aggregation process of dispersed water droplets and the effect of aggregation on secondary atomization of emulsified fuel droplets. *Proc Combust Inst* 2011;33:2063–70.

20. Tarlet D, Josset C, Bellettre J. Comparison between unique and coalesced water drops in micro-explosions scanned by differential calorimetry. *Int J Heat Mass Transf* 2016;95:689–92.
21. Liu X, Cheng P. 3D multiphase lattice Boltzmann simulations for morphological effects on self-propelled jumping of droplets on textured superhydrophobic surfaces. *Int Commun Heat Mass Transf* 2015;64:7–13.
22. Strizhak PA, Volkov RS. The integral characteristics of the deceleration and entrainment of water droplets by the counter flow of high-temperature combustion products. *Exp Therm Fluid Sci* 2016;75:54–65.
23. Behjat Y, Shahhosseini S, Marvast MA. Modeling gas oil spray coalescence and vaporization in gas solid riser reactor. *Int Commun Heat Mass Transf* 2010;37:935–43.
24. Glushkov DO, Strizhak PA, Chernetskii MY. Organic coal-water fuel: Problems and advances (Review). *Therm Eng* 2016;63:707–17.
25. Vysokomornaya OV, Piskunov MV, Strizhak PA. Breakup of heterogeneous water drop immersed in high-temperature air. *Appl Therm Eng* 2017;127:1340–5.
26. Wang X, Han Z, Su W. Numerical study of the impact on high-pressure and evaporating spray behavior of nozzle cavitation at typical diesel engine conditions. *Int Commun Heat Mass Transf* 2017;81:175–82.
27. Tanimoto D, Shinjo J. Numerical simulation of secondary atomization of an emulsion fuel droplet due to puffing: Dynamics of wall interaction of a sessile droplet and comparison with a free droplet. *Fuel* 2019;252:475–87.
28. Sommerfeld M, Kuschel M. Modelling droplet collision outcomes for different substances and viscosities. *Exp Fluids* 2016;57:187.
29. Planchette C, Lorenceau E, Brenn G. Liquid encapsulation by binary collisions of immiscible liquid drops. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp* 2010;365:89–94.
30. Finotello G, Kooiman RF, Padding JT, Buist KA, Jongsma A, Innings F, et al. The dynamics of milk droplet--droplet collisions. *Exp Fluids* 2017;59:17.

31. Williams YO, Roas-Escalona N, Rodríguez-Lopez G, Villa-Torrealba A, Toro-Mendoza J. Modeling droplet coalescence kinetics in microfluidic devices using population balances. *Chem Eng Sci* 2019;201:475–83.
32. Acevedo-Malavé A, Loaiza N. Fluid mechanics calculations in physics of droplets – IV: Head-on and off-center numerical collisions of unequal-size drops. *J Comput Multiph Flows* 2016;8:148–56.
33. Yi N, Huang B, Dong L, Quan X, Hong F, Tao P, et al. Temperature-induced coalescence of colliding binary droplets on superhydrophobic surface. *Sci Rep* 2014;4.
34. Wang Z, Chen R, Zhu X, Liao Q, Ye D, Zhang B, et al. Dynamic behaviors of the coalescence between two droplets with different temperatures simulated by the VOF method. *Appl Therm Eng* 2018;131:132–40.
35. Kanda Y, Shoji E, Chen L, Okajima J, Komiya A, Maruyama S. Measurement of transient heat transfer in vicinity of gas–liquid interface using high-speed phase-shifting interferometer. *Int Commun Heat Mass Transf* 2017;89:57–63.
36. Aarts DGAL, Lekkerkerker HNW, Guo H, Wegdam GH, Bonn D. Hydrodynamics of droplet coalescence. *Phys Rev Lett* 2005;95.
37. Xu H, Chang C, Yi N, Tao P, Song C, Wu J, et al. Coalescence, Spreading, and Rebound of Two Water Droplets with Different Temperatures on a Superhydrophobic Surface. *ACS Omega* 2019;4:17615–22.
38. Rabe C, Malet J, Feuillebois F. Experimental investigation of water droplet binary collisions and description of outcomes with a symmetric Weber number. *Phys Fluids* 2010;22:47101.
39. Pawar SK, Henrikson F, Finotello G, Padding JT, Deen NG, Jongsma A, et al. The dynamics of milk droplet–droplet collisions. *Powder Technol* 2016;300:157–63.
40. Volkov RS, Kuznetsov GV, Strizhak PA. Statistical analysis of consequences of collisions between two water droplets upon their motion in a high-temperature gas flow. *Tech Phys Lett* 2015;41.
41. Kuznetsov G V, Strizhak PA. Collisions between Liquid Drops of Various Shapes in a Gas Flow. *Tech Phys Lett* 2019;45:267–70.

42. Hu C, Xia S, Li C, Wu G. Three-dimensional numerical investigation and modeling of binary alumina droplet collisions. *Int J Heat Mass Transf* 2017;113:569–88.
43. Krishnan KG, Loth E. Effects of gas and droplet characteristics on drop-drop collision outcome regimes. *Int J Multiph Flow* 2015;77:171–86.
44. Pawar SK, Henrikson F, Finotello G, Padding JT, Deen NG, Jongsma A, et al. An experimental study of droplet-particle collisions. *Powder Technol* 2016;300:157–63.
45. Finotello G, De S, Vrouwenvelder JCR, Padding JT, Buist KA, Jongsma A, et al. Experimental investigation of non-Newtonian droplet collisions: the role of extensional viscosity. *Exp Fluids* 2018;59.
46. B. Vargaftik N, N. Volkov B, D. Voljak L. International Tables of the Surface Tension of Water. *J Phys Chem Ref Data* 1983;12.
47. N.E. Shlegel, P.P. Tkachenko, P.A. Strizhak, Influence of viscosity, surface and interfacial tensions on the liquid droplet collisions, *Chem. Eng. Sci.* 220 (2020) 115639.
48. A.V. Demidovich, S.S. Kralinova, P.P. Tkachenko, N.E. Shlegel, R.S. Volkov, Interaction of Liquid Droplets in Gas and Vapor Flows, *Energies.* 12 (2019).
49. N.E. Shlegel, P.P. Tkachenko, P.A. Strizhak, Collision of water droplets with different initial temperatures, *Powder Technol.* 367 (2020) 820–830.
50. R.I. Egorov, P.P. Tkachenko, R.I. Taburchinov, A.O. Chulkov, The propagation and ignition of the finely dispersed coal-water aerosol, *Fuel.* 263 (2020).
51. Зайцев А. С., Егоров Р. И., Ткаченко П. П., Белоногов М. В. Газификация водоугольных композиций лазерными импульсами различной интенсивности // *Химия твердого топлива.* 2019. №. 1. С. 54-60.
52. Зайцев А. С., Ткаченко П. П., Белоногов М. В., Егоров Р. И. Светоиндуцированная газификация топливных композиций, приготовленных из отходов углерепереработки. *Кокс и химия.* 2018. №. 7. С. 43-51.

53. A.S. Zaytsev, P.P. Tkachenko, M.V. Belonogov, R.I. Egorov, Light-Induced Gasification of Fuels Prepared from Coal-Enrichment Wastes, *Coke Chem.* 61 (2018).
54. A.S. Zaitsev, R.I. Egorov, P.P. Tkachenko, M.V. Belonogov, Gasification of Coal–Water Compositions by Laser Pulses of Various Intensity, *Solid Fuel Chem.* 53 (2019).
55. Термометры сопротивления Элемер 100М/100П. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/43587-10-tsm-012-tsp-012-45762> (дата обращения: 12.03.2020).
56. Термопреобразователи сопротивления Метран-2000-100П/Pt100/50М-Н10-У1. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://xn--90ahjlrccsjdm.xn--p1ai/catalog/metran-2000-100p-50m-v-4-a03-n10-u1-1-termopreobrazovatel-soprotivleniya/> (дата обращения: 12.03.2020).
57. Сертификация термопреобразователей ТСМУ(ТСПУ)014 ИНД. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: http://termopribor.msk.ru/news.php?news_id=1&SID (дата обращения: 12.03.2020).
58. Датчики давления Метран М150 АС ТГ. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-150-ru-ru> (дата обращения: 12.03.2020).
59. ПД200-ДИ модель 315 датчик избыточного давления общепромышленный. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://owen.ru/product/preobrazovateli_izbitochnogo_davleniya_owen_pd200_di_div (дата обращения: 12.03.2020).
60. Преобразователи давления Элемер-100 ДИ. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://all-pribors.ru/catalog/datchiki_preobrazovateli_davleniya/info/39 (дата обращения: 12.03.2020).
61. Преобразователи давления Элемер-100 ДД. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://all-pribors.ru/catalog/datchiki_preobrazovateli_davleniya/info/39 (дата обращения: 12.03.2020).

62. Датчик дифференциального давления Метран-350SFA. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-350-ru-ru> (дата обращения: 12.03.2020).
63. Rosemount 3051 – датчик давления агрессивных сред в широком диапазоне. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/rosemount-sku-3051-coplanar-pressure-transmitter-ru-ru> (дата обращения: 12.03.2020).
64. Расходомер Метран-370. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.com/ru-ru/catalog/metran-370rfa-ru-ru> (12.03.2020).
65. Элемер FLONET FS20XX.1 ультразвуковой расходомер. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Products/10020519> (дата обращения: 12.03.2020).
66. Расходомер-счетчик ультразвуковой ЭЛСИ-МАГ 270 (для вязких жидкостей). [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: http://vzljot.ru/catalogue/ultrazvukovoj_metod/vzlet_mr_ursv110_dlya_vyazkih_zhid_kostej/ (дата обращения: 12.03.2020).
67. SIMATIC S7-1200 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ste.ru/siemens/contr.html> свободный. – Загл. с экрана.
68. ВЭСТ-02 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://prowest.ru/.html> свободный. – Загл. с экрана.
69. ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf свободный. – Загл. с экрана.
70. Промтех. Каталог приборов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.promtex.ru/trolex1/> свободный. – Загл. с экрана.
71. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/32.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

72. Блоки управления БУЭР 1-30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elkont.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
73. Ильина И.Л. Проектирование автоматизированных систем: Учебное пособие. – Ангарск: Изд. АГТА, 2005. – 308 с.
74. ООО «Электропоставщик». Кабельно-проводниковая продукция, кабель АКРВБГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cable.ru/cable/group-akrvbg.php> свободный. – Загл. с экрана.
75. Программное обеспечение ПТК АСУ ТП. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energocert.ru/asutp/programmnoe-obespechenie-ptk-asu-tp-i-lokalnyh-sau/> свободный. – Загл. с экрана.
76. Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293830/4293830898.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
77. Системное ПО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maksakov-sa.ru/ProgrProd/klasProgProd/SysProgrObes/index.html> свободный. – Загл. с экрана.
78. РФ Т. К. Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ //Российская газета. – 2001. – №. 256.
79. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования. – Москва: Издательство стандартов, 1976. – 8 с.
80. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
81. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 19 с.
82. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2016. – 10 с.

83. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2015. – 27 с.
84. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2019. – 20 с.
85. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2010. – 16 с.
86. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – Москва: Изд. Моркнига, 2019. – 16 с.
87. ГОСТ Р 54906—2012. Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2012. – 54 с.
88. ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – Москва: Изд. ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.
89. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2016. – 12 с.
90. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Москва: Изд. Деан, 2007. – 21 с.

Приложение А

(обязательное)

Experimental research on the influence of viscosity and surface tension on the liquid droplet collisions

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Ткаченко Павел Петрович		

Руководитель ВКР:

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП ОИЯ ТПУ	Костомаров П.И.	к.фил.н., доцент		

Introduction

There are many works of Russian and foreign authors devoted to the study of the intensification of various heat exchange and physicochemical processes and phase transformations over the past 30 years [1–10]. The field of practical application of gas-vapor flows includes the fight against forest and man-made fires, chemical and oil industries, heat and mass transfer equipment and systems. Their application in fuel injection systems in internal combustion engines and boiler units is of great interest. In conditions of limited water resources, the field of thermal water treatment is relevant.

As part of the fight to reduce harmful emissions and make economical use of useful resources, work is being done to improve the efficiency of heat recovery from energy carriers. If there is a need for large investments in improving the efficiency of boiler units at thermal power plants (TPP), consider a General increase in the efficiency of energy extraction throughout the plant. The main heat losses at thermal power plants are losses with outgoing flue gases [1, 2]. For gas-fired boilers, the average value of these losses is at the level of 4-5 % [1, 2], while the vapor contains about 11-14 % of the heat released during gas-fuel combustion. The use of contact economizers allows you to extract some of the heat from the flue gases by heating the sprayed water with combustion products [3]. This approach allows increasing the efficiency of installations and partial purification of waste gases [4, 5], but they still carry away some of the heat that can be extracted when using gases as a heat agent. Fragmentation is used to intensify the processes of phase transformations by reducing the temperature in the combustion zone and thus localizing the zone of flaming combustion with a thinly dispersed liquid or liquid "curtains". The high efficiency of this approach using droplet flows with fragment sizes from 10 microns to 500 microns has been confirmed by [6-9]. In [6-9] it is proved that thin liquid atomization increases the rate of evaporation with the consumption of more heat than with the evaporation of such a volume of unsaturated liquid. The effectiveness of

extinguishing fires with fine droplets of liquid can reduce the interaction with neighboring droplets when moving in the flow of combustion products. Also impede the efficient quenching of hot rising convection currents. They inhibit downward moving drops of liquid light, but thus over the area of the combustion formed water layer, overlying the oxygen in the combustion zone [10, 11]. To overcome the entrainment of droplets to maintain the efficiency of evaporation technology use for secondary grinding fluid directly in the area of heat transfer [12]. Grinding is carried out by several methods: the collision of two drops, the collision of a drop with a solid surface, micro-explosive destruction and disruption by a gas jet. In the practice of fire extinguishing, the most promising is the disruption of liquid due to the collision of liquid arrays. In this way, you can achieve the required size of the formed fragments or secondary droplets without the use of additional technical means.

A new way to extract heat from outgoing flue gases is to use them together with the flow of droplets and vapors in the form of heat carriers. The most promising area of application of such a coolant for defrosting raw materials in manufacturing and heavy industry, delivered in coal wagons to thermal power plants, is the preparation of materials and surfaces in construction. Due to the lack of heat exchange surfaces in technologies involving the use of gas-vapor heat carriers, the heat exchange efficiency increases to the level of 90-95 % [13]. In some applications, the temperature can increase to 900-1000 K in a given volume at atmospheric pressure. This increases the mobility of installations and increases the speed of heat exchange processes without large investments in the creation of installations designed for high operating pressure [13, 14].

Literature review

Article [15] described a new method of processing images of particles on single-frame images. It is done using the model of the correction of the movement of particles along trajectories. The principle of the model is to define a clear contour of the defocused image of a particle. The result is a decrease in the error of determining

the particle size by two times. Lu, Y. et al. [16] presented the results of determining the size of coal-water slurry (CWS) particles using the Particle Image Velocimetry (PIV) method and convex lens with a long focal length. This technique allows determining particle sizes up to 15 microns. The Reynolds, Weber, Ohnesorge numbers were calculated for the four liquids, namely water, diesel oil, light heating oil, and crude rapeseed oil [17]. The forms of droplets reevaluated to determine the flow by Sauter for heated liquids at a distance of 60 mm from a nozzle. The viscosity limits did not affect spray characteristics. Preheating is recommended for rapeseed oil.

Authors reviewed effect of the concentration of water in diesel fuel, the separation regimes, the ratio of the flow rate of liquid and air on the spraying length, the distribution of droplet sizes and their volume under various conditions [18]. The separation of a diesel-water fuel mixture after injection into the area under study was revealed. As working conditions, Weber numbers for water from 30 to 125 were chosen; Weber numbers for diesel fuel under the same conditions were equal to 92 to 382. According to the results of the experiments, graphs were constructed that can be used to predict the results of experiments under other working conditions. In study [19], a comparison of light gathering characteristics of an experimental tomographic PIV system made using a bluff body model that was coated white aerosol paint and fluorescent paint Rhodamine (R6G). The use of white paint led to intense reflection from the surface. While R6G contributed to a very weak surface reflection, creating a signal-to-noise ratio sufficient to form a uniform image throughout the calibrated volume. The deposition of thin films of Ti_2O under hybrid aerodynamic and electrostatic spraying was studied in [20]. To develop a technology for applying a uniform thin film, the characteristics of sputtering (speed, trajectory, size, and field strength during spraying) was analyzed. Using PIV, the velocities and trajectories of the droplets during the deposition process were characterized with various experimental parameters. The developed method of applying thin films can be used in the manufacture of transparent electrodes, solar panels, displays, and cars.

Authors [21] described the concept of the new spray generator, which combines the aerodynamic and mechanical destruction of a liquid to spray a liquid. The proposed technology is suitable for creating jets of highly viscous and non-Newtonian liquids and allows spraying liquids at much lower pressures than conventional nozzles. The prototype of the spray generator was tested with two liquids: an aqueous solution of glycerin and an emulsion of Carbopol polymer in water. Baker et al. studied the performance of the spray generator for two liquids and constructed the calibration curve. Ehlers et al. [22] determined the spraying characteristics of purified water in a fluid-bed granulator. Drops were produced by a pneumatic nozzle. Diode laser stroboscopy (DLS) is used to detect the droplets, and particle tracking velocimetry (PTV) is used to measure the size and velocity of the droplets. Increasing the spraying pressure reduced the size of the droplets, while the droplets were subjected to a strong turbulence at the moment of spraying. In the lower half of the chamber, the turbulence was minimal. The turbulence increased with decreasing droplets velocity and size due to the effects of fluidizing air. Lu et al. [23] investigated in detail the effect of pressure on an optical sensor in an online particle measurement system based on quantum theory and kinetic gas theory. The pressure influenced the angle of the diverging light and changed the density and the refractive index of a gas. This caused a variation of the intensity of the cross section of the optical measurement volume, creating a significant deviation in the measurement result relative to the actual sample. Theoretical and experimental dynamic models were created on the basis of the theory of geometric optics. The proposed dynamic models can be used to measure particles and effectively adjust the optical sensor. In [24], the characteristics of deformation and destruction of charged droplets in a dielectric fluid controlled using a needle electrode configuration in the presence of an electric field. Four modes of destruction of droplets achieved by manipulating an electric field. Among them were single mode, swing mode, branch mode and leaf mode. In addition, the effect of the electric field on the size distribution of droplets, the length of the fracture, and the angle of the cone in four

modes studied. An increase in the applied voltage led to a decrease in the size of the droplets, and the universal scaling law described the size distribution of the droplets. It revealed that the length of destruction and the angle of the cone related to the modes of destruction of the drop. Moreover, the angle of rupture of the cone decreased with increasing voltage in all modes.

Experimental methods and results

For experimental studies to determine the effect of the viscosity and surface tension of the liquid on the interaction modes and the consequences of collisions of droplets, the stand shown in figure A.1 used.

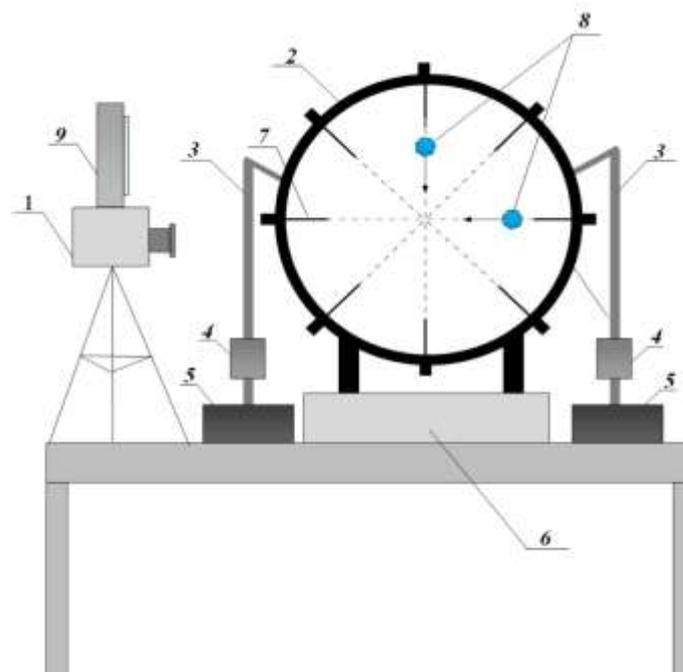


Figure A.1 – The experimental setup: 1 – high-speed video camera; 2 – disk element for holding nozzles; 3 – liquid supply channel; 4 – pump; 5 – container with the supplied liquid; 6 – liquid collecting container; 7 – capillaries; 8 – drops; 9 – lighting system

The flow of drops generated by replaceable nozzles of different sizes (0.5–1 mm) mounted on the capillaries. The liquid heated up to 100 °C using a gas burner (power 1.09 kW, maximum temperature 1300 °C). For temperature control, a

chromel-alum thermocouple was used (measuring range -50-1200 °C, junction diameter 0.5 mm, error ± 1 °C, thermal inertia time about 1 s).

A group of glycerol solutions used to assess the effect of viscosity on the processes of droplet fragmentation during collisions: 10 vol% glycerol, 90 vol% water; 25 vol% glycerol, 75 vol% water; 50 vol% glycerol, 50 vol% water.

To investigation the effect of surface tension of the liquid prepared specialized compositions using surfactants: 0.5 vol% Twin 20, 99.5 vol% water; 0.5 vol% Twin 80, 99.5 vol% water; 0.5 vol% Neonol AF9-12, 99.5% water. The surface tension of liquids was measured by the ring separation method (de Nouy method) [18] using A Kruss K6 strain gauge at a temperature of 20 ° C. The device was calibrated when measuring the surface tension of distilled water (the correction factor is 0.995). Properties of the solutions used are shown in table A.1.

Table A.1 – Properties of liquid compositions used, as compared with water

Name of composition	Density ρ , kg/m ³	Surface tension σ , N/m	Dynamic viscosity μ , Pa·s
Water	998	0.07269	0.0014
Compositions for varying μ			
Glycerol solution (Water 90 vol%, Glycerol 10 vol%)	1022	0.0713	0.001371
Glycerol solution (Water 75 vol%, Glycerol 25 vol%)	1060	0.0693	0.002239
Glycerol solution (Water 50 vol%, Glycerol 50 vol%)	1126	0.0661	0.006301
Compositions for varying σ			
Water 99.5 vol%, Tween-80 0.5 vol%	998	0.0474	0.0014
Water 99.5 vol%, Tween-20 0.5 vol%	998	0.0401	0.0014
Water 99.5 vol%, Neonol 0.5 vol%	998	0.0361	0.0014

The scheme of registering the characteristics of colliding drops shown in figure 1.2.

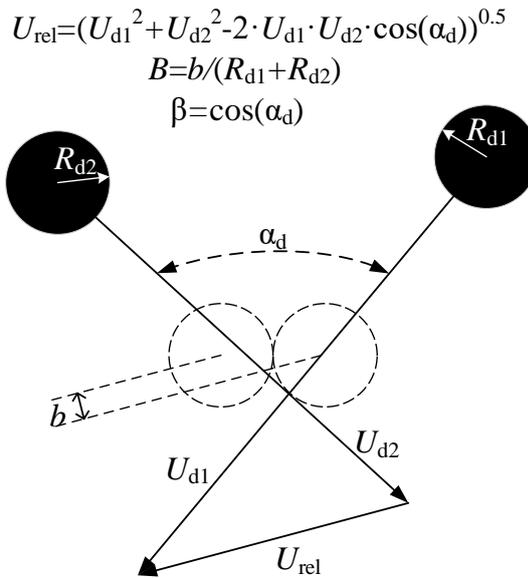
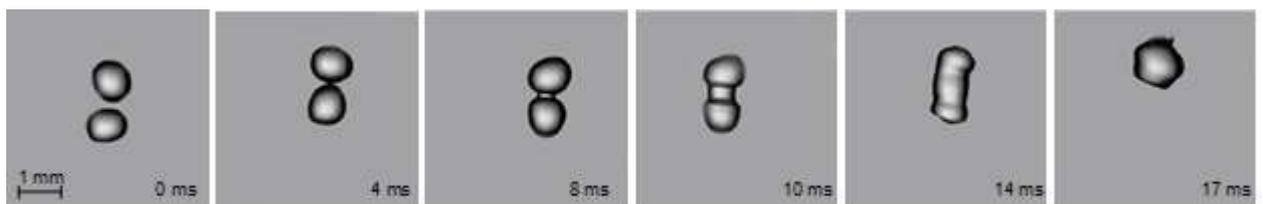


Figure 1.2 – Scheme of registering droplet impact parameters

Calculated the resulting interaction rate drops as used [20, 21] cosine theorem $U_{rel}=(U_{d1}^2+U_{d2}^2-U_{d1}\cdot U_{d2}\cdot 2\cdot\cos(\alpha_d))^{0.5}$. Using the vector of the relative velocity and the distance between the centers of mass of drops (b) calculated dimensionless linear interaction parameter $B=b/(R_{d1}+R_{d2})$ [20, 21]. This takes into account the centrality of the impact. Parameter B can take values from zero to one. Dimensionless linear interaction parameter allows taking into account the angle of attack (α_d). The next parameter for the collision of drops is the Weber number ($We=2\cdot\rho\cdot R_{d1}\cdot U_{rel}^2/\sigma$) [20, 21]. It allows account the properties of the liquid, the resulting interaction rate, and the size of the droplets.

In experiments of droplets colliding, four typical outcomes distinguished [22-26]: bouncing, coagulation, separation, and disruption. Video frames of the four outcomes shown in figure 1.3.



a

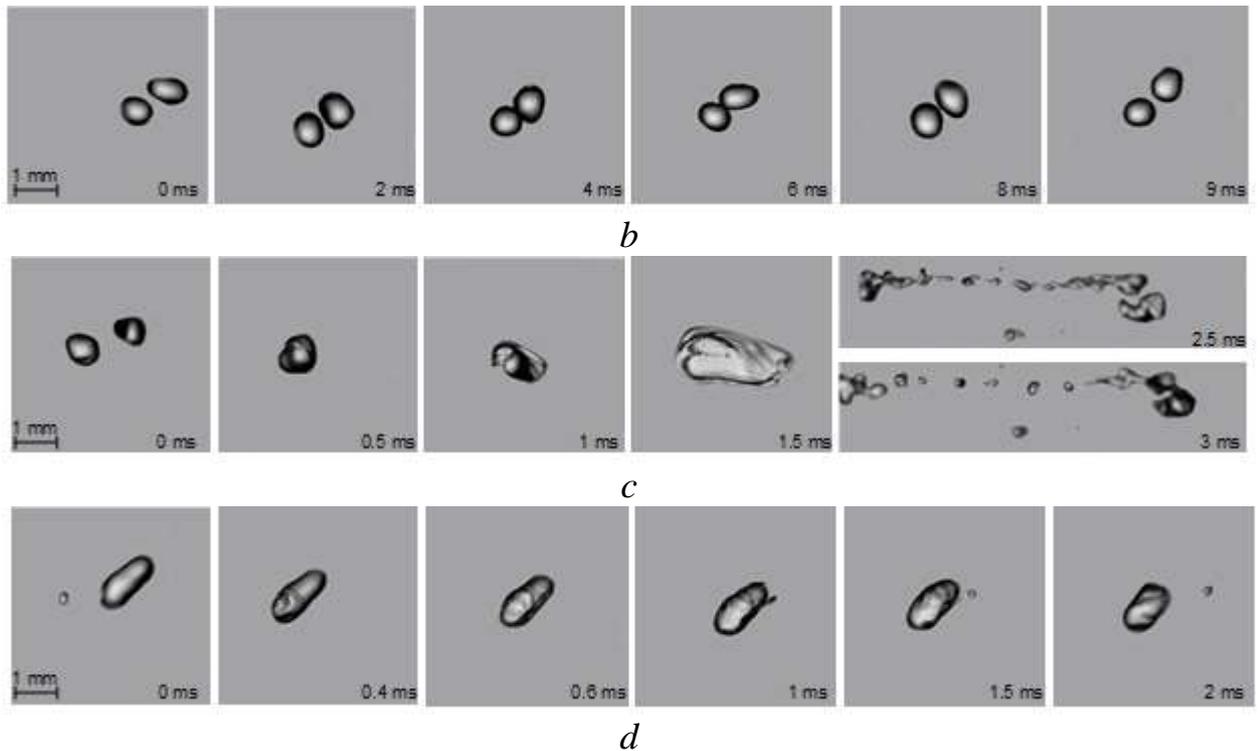


Figure 1.3 – Video frames with an illustration four modes of interaction of droplets: *a* – coagulation; *b* – bouncing; *c* – disruption; *d* – separation

An increase in the viscosity of the liquid caused a slight shift in the boundaries modes of splitting and spreading towards large Weber numbers (Fig. A.4).

The disruption boundary for the glycerol solution also underwent a slight shift relative to the experiments with water drops ($\Delta \approx 6\%$) in the direction of increasing We values. A change in the position of the triple point located at the intersection of the boundaries of the modes of coagulation, separation and disruption found. The position of the triple point in the collision of water droplets corresponds to the value $B=0.6$. During experiments with glycerol solutions, its position was shifted towards lower values of the dimensionless linear interaction parameter to the value $B=0.5$. Bouncing of glycerol drops registered at lower values B . An increase in the concentration of glycerol in the solution did not lead to a shift in the boundary of the bouncing area. This behavior of the boundary of the bouncing area is explained by the low value of the relative velocity and We . Surface tension forces prevail over inertia forces.

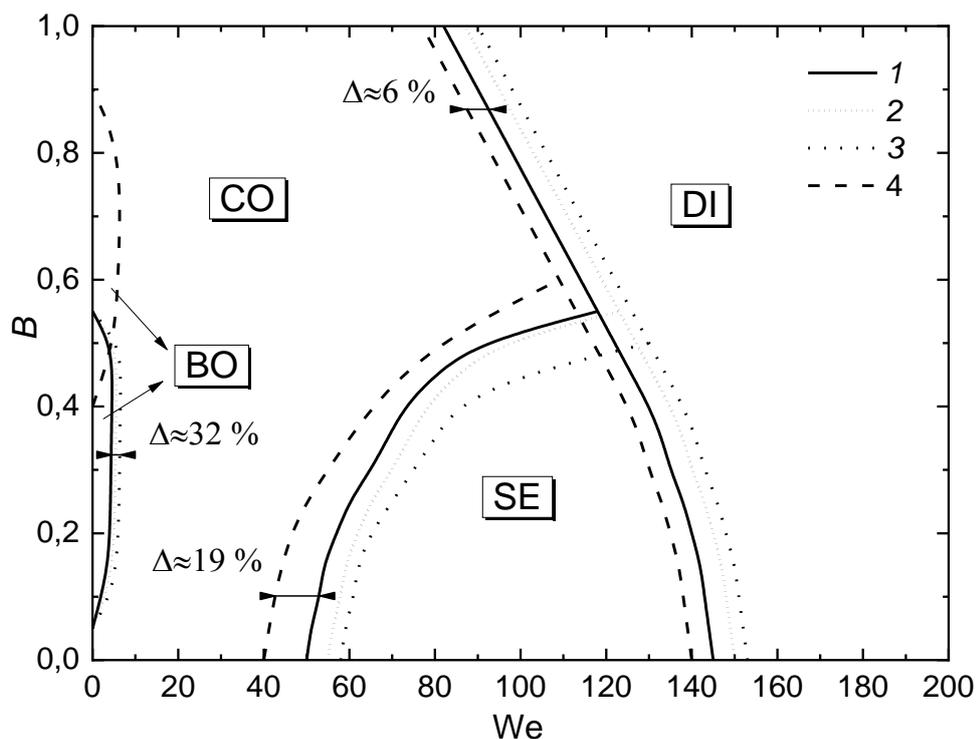


Figure 1.4 – Influence of liquid viscosity on the boundaries of transitions between areas corresponding to different modes of droplet collisions: 1 – 10 vol% glycerol, 90 vol % water; 2 – 25 vol% glycerol, 75 vol % water; 3 – 50 vol% glycerol, 50 vol% water; 4 – water

Investigation the influence of the liquid surface tension on the position of the boundaries of the interaction modes of droplets, found that with a decrease in the surface tension by two times, the boundary of the transition to the disruption mode shifts towards smaller values of the Weber number by $\Delta \approx 67\%$ (Fig. A.5). The same result was observed for the boundary of the separation mode. Its displacement relative to the similar boundary for water was $\Delta \approx 63\%$. This position of the transition boundaries between modes explained by a decrease in the critical value of the kinetic energy required to overcome the surface tension forces of the droplets.

The triple point also changed its position both along the axis of values of the dimensionless linear interaction parameter B and along the We axis. The bouncing area changed its position along the B axis from 0.4–0.9 for water to 0.05–0.4 for surfactant solutions.

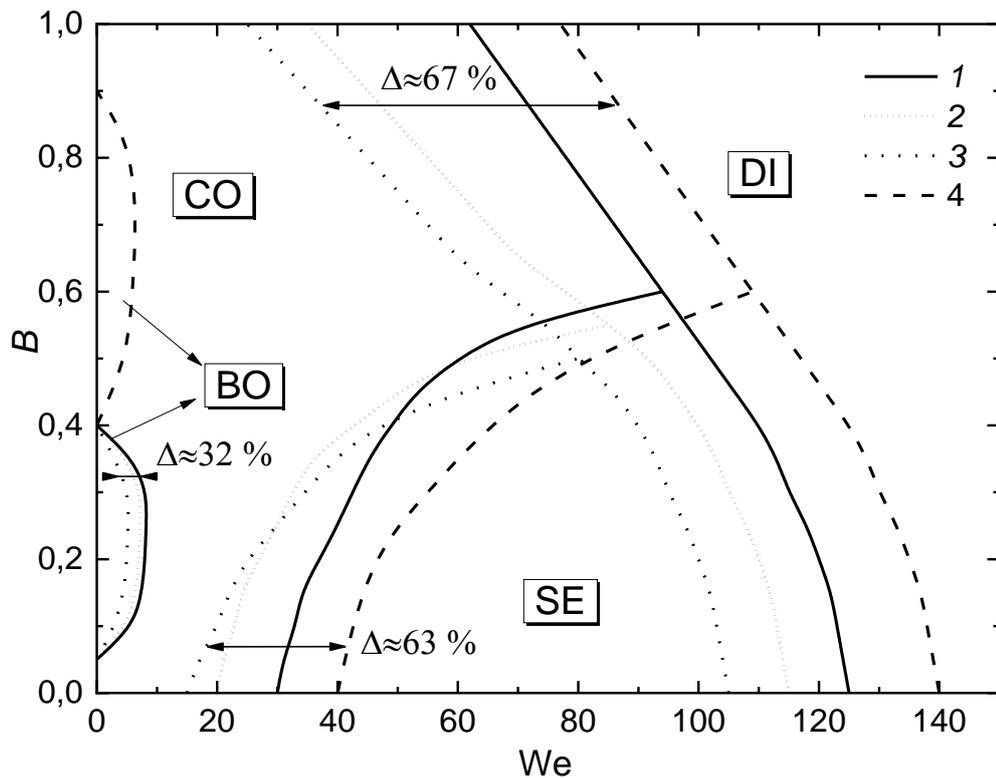


Figure 1.5 – Effect of liquid surface tension on the boundaries of droplet interaction modes: 1 – 0.5 vol% Twin 80, 99.5 vol% water; 2 – 0.5 vol% Twin 20, 99.5 vol% water; 3 – 0.5 vol% Neonol AF9 – 12, 99.5 vol% water; 4 – water

Conclusion

Drops with a higher viscosity quickly assume a spherical shape and are subject to less vibration during movement. The more spherical shape contributes to the uniform distribution of forces acting on the drop, and they are more difficult to disrupt. Viscous liquids form larger fragments than less viscous compositions during disruption. Thus, the experiments proved that for intensive secondary fragmentation of droplets, it is advisable to use liquid compositions with low viscosity. This conclusion is valid throughout the wide range (up to 200) of variation of the integral parameter Weber number.

Reducing the surface tension of the liquid causes several changes in the “liquid–gas” system. The first is that, when the surface tension decreases, the restraining layers near the surface decrease. Because of this, the layers take on a

wave-like structure and draw air from the environment. This results in more intense disruption when another drop collides with it. In addition, due to the decrease in surface tension, the shape of the drop significantly transformed relative to the spherical one. The shape of ellipsoids, disk, or liquid disks increases. Due to the increase in surface area and, consequently, resistance, droplets are unstable when moving in a gas environment, and relatively small aerodynamic forces are sufficient for their destruction. They begin to be disrupted until they collide with another drop, and when they collide, the degree of disruption of liquid fragments increases. Reducing surface tension increases the size of transforming liquid droplets and the duration of deformation.

From the presented results, it can be concluded that by reducing the surface tension it reduces the speed of movement necessary for disruption droplets and increases the degree of disruption of the liquid after the collision of its fragments.

References

1. Bukharkin, E. N. Analysis of parameters of a complex installation for heat recovery and gas treatment for steam boilers. Heat power engineering. 1995. Vol. 5. Pp. 57–61.
2. Bukharkin, E. N. On the method of thermal calculation of condensing waste gas heat utilizers. Heat power engineering. 1997. Vol. 2. Pp. 41–46.
3. Volkov, R. S. Features of movement and evaporation of water drops in contact water heaters. Heat power engineering. 2016. Vol. 9. Pp. 68–75.
4. Zakrevsky, V. A. Contact heating of water by outgoing gases in gas boilers. Energy Bulletin of BNTU. 2007. Vol. 3. Pp. 54–62.
5. Zhikhar, G. I. Improving the efficiency of using gaseous fuel on boilers by using contact economizers. Heat power engineering. 2007. Vol. 2. Pp. 39–36.
6. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Analysis of the influence of the initial temperature of sprayed water on the integral characteristics of its evaporation when moving through the "hot" gases zone. Engineering and physical journal. 2014. Vol. 2. Pp. 436–444.
7. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental investigation of the completeness of evaporation of sprayed water when it moves through the flame. Fire and explosion safety. 2013. Vol. 10. Pp. 15–24.
8. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical investigation of heat and mass transfer during the movement of "tandem" water drops in a high-temperature gas environment. Thermal processes in engineering. 2012. Vol. 12. Pp. 531–538.
9. Grishina. M. Mathematical modeling of forest fires and new ways of fighting them. Novosibirsk: Science. 1992. P. 408.
10. Kuznetsov G. V., Baranovsky N. V. Forecast of forest fires and their environmental consequences. Novosibirsk: publishing house of SB RAS, 2009. P. 301.

11. Damaschke N., Nobach H., Tropea C. Optical limits of particle concentration for multi-dimensional particle sizing techniques in fluid mechanics. *Experiments in Fluids*. 2002. V. 32. Pp. 143–152.
12. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Effect of the volume concentration of a set of water droplets moving through high-temperature gases on the temperature in the wake. *J. Appl. Mech. Tech. Phys.* 2015. Vol. 56. Pp. 558–568.
13. Nikitin, M. A. Use of gas-steam mixture in fuel combustion. *Industrial power engineering*. 2010. Vol. 12. Pp. 37–42.
14. Nikitin, M. A. Diagrams of enthalpy of gas-vapor mixtures. *Bulletin of the Samara state technical University: a Series of tech. Sciences*. 2011. Vol. 1. Pp. 227–232.
15. Jing, J., Xiao, F., Yang, L., Wang, S., Yu, B. Measurements of velocity field and diameter distribution of particles in multiphase flow based on trajectory imaging. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2018. V. 59. P. 103–113.
16. Lu, Y., Lu, P., Zhang, M. Atomization parameters of coal water paste measured by PIV technique. *Journal of Southeast University (English Edition)*. 2018. V. 21, №2. P. 180–183.
17. A. Urbán, M. Malý, V. Józsa, J. Jedelský, Effect of liquid preheating on high-velocity airblast atomization: from water to crude rapeseed oil. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2018. P. 137-151.
18. Jinkwan Song and Jong Guen Lee Characterization of spray formed by diesel-water mixture jet injected into an air crossflow. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2017: Turbomachinery Technical Conference and Exposition*. 2017. P. 139-149.
19. Tucker T. Bisel, Jerry L. Dahlberg, Tony R. Martin, Spencer S. Owen, Russell G. Keanini, Peter T. Tkacik, Nithin Narayan, Navid Goudarzi A comparison of flat white aerosol and Rhodamine (R6G) fluorescent paints and their effect on the results of tomographic piv measurements. *Proceedings of the ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2017. P. 234-243.

20. Seong, B., Hwang, S., Jang, H.-S., Lee, H., Kim, J., Nguyen, V.D., Cho, D.-H., Lin, L., Byun, D. A hybrid aerodynamic and electrostatic atomization system for enhanced uniformity of thin film. *Journal of Electrostatics*. 2017. P. 93-101.
21. Tom Baker, Michele Negri, Volfango Bertola Atomization of high-viscosity and non-Newtonian fluids by premixing. *Atomization and Sprays*. 2018. P. 403-416.
22. Ehlersa H., Larjob J., Antikainena O., Räikkönenena H., Heinämäkia J., Yliruusi J., In situ droplet size and speed determination in a fluid-bed granulator. *International Journal of Pharmaceutics*. 2010. P. 148–154.
23. Lifeng Lu, Xiaolin Wu, Zhongli Ji and Xuan Song, The influence of pressure on optical particle measurement. *Journal of Aerosol Science*. 2018. P. 18-26.
24. Wang, D., Wang, J., Wang, X., Huo, Y., Yongphet, P. Experimental investigation on the deformation and breakup of charged droplets in dielectric liquid medium. *International Journal of Multiphase Flow*. 2019. P. 39-49.