

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 тушения с применением разных по компонентному составу жидкостей

УДК 614.844.2-52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Кропотова Светлана Сергеевна		

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
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020 г.

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ П.А. Стрижак

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ82	Кропотовой Светлане Сергеевне

Тема работы:

Автоматизированная система тушения с применением разных по компонентному составу жидкостей	
Утверждена приказом директора № 135-42/с	14.05.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<p>Объектом автоматизации является технологическое оборудование системы пожаротушения складов лесоматериалов. При разработке системы управления использовать современные микропроцессорные технические средства автоматизации. Предусмотреть тушение пожара разными по компонентному составу жидкостями. Для выбора наиболее эффективных тушащих составов целесообразно проведение экспериментальных исследований по определению свойств горючих материалов (теплофизических и термокинетических характеристик).</p>
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Научно-исследовательская работа. 2 Проектирование автоматизированной системы пожаротушения. 3 Расчет параметров настройки регулятора. 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схема структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления. 6 Сборочный чертеж щита управления
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:	
Введение, научно-исследовательская работа (Determination of thermophysical and thermokinetic characteristics of forest combustible materials and the choice of a type of fire extinguishing agent for it)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2020
---	------------

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	Кропотова Светлана Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 152 страницы, 17 рисунков, 42 таблиц, 97 источников, 5 приложений, 20 листов графического материала.

Ключевые слова: система пожаротушения, аэрозоль, лесной горючий материал, система автоматизации, микропроцессорный контроллер.

Объектом автоматизации является технологическое оборудование системы пожаротушения складов лесоматериалов.

Цель работы – разработка автоматизированной системы пожаротушения, позволяющей применять разные огнетушащие составы при тушении крупных пожаров на складах лесоматериалов, а также экспериментальное определение теплофизических и термокинетических характеристик лесного горючего материала (ЛГМ) для обоснованного выбора наиболее эффективного тушащего состава.

При выполнении работы использовался текстовый редактор Microsoft Office, графический редактор Microsoft Visio, программный пакет OriginPro, математическое программное обеспечение Mathcad, программный пакет для проектирования систем диспетчерского управления и сбора данных TiaPortal, а также современное высокоточное оборудование для измерения свойств материалов (прибор для измерения теплофизических характеристик DLF-1200 TA Instruments с ПО FlashLine и прибор для термического анализа NETCH).

В результате исследования разработана автоматизированная система тушения пожаров с применением полидисперсных жидкостных аэрозолей на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Оглавление

Введение	10
1 Научно-исследовательская работа.....	13
1.1 Теплофизические и термокинетические характеристики лесных горючих материалов	13
1.1.1 Определение теплофизических характеристик лесного материала	13
1.1.2 Измерение термокинетических характеристик лесного материала	17
1.1.3 Результаты экспериментальных исследований	20
1.2 Выбор огнетушащих составов для лесных материалов	24
1.3 Подавление термического разложения ЛГМ под воздействием жидких аэрозолей и капель воды со специализированными добавками	27
2 Проектирование автоматизированной системы пожаротушения	32
2.1 Системный анализ объекта автоматизации	32
2.2 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления ...	35
2.2.1 Основные требования к АСПТ	37
2.3 Разработка функциональной схемы системы управления.....	42
2.4 Выбор технических средств автоматизации	45
2.4.1 Выбор датчика уровня	46
2.4.2 Выбор датчика давления	47
2.4.3 Выбор датчика расхода	48
2.4.4 Выбор датчика расхода для вязких сред	49
2.4.5 Выбор датчика расхода для сыпучих материалов	50
2.4.6 Выбор вибрационного устройства	51
2.4.7 Выбор датчика вязкости	52
2.4.8 Выбор датчика температуры.....	53
2.4.9 Выбор извещателей пламени	54

2.4.10	Выбор ручного пожарного извещателя	56
2.4.11	Выбор насосного оборудования	57
2.4.12	Выбор исполнительного механизма	58
2.4.13	Выбор блока управления исполнительным механизмом	59
2.4.14	Выбор программируемого логического контроллера	59
2.5	Проектирование схемы внешних проводов	62
2.6	Разработка принципиальной электрической схемы щита управления	63
2.7	Разработка сборочного чертежа и общего вида щита управления	64
2.8	Разработка математического, программного и информационного обеспечений	66
2.9	Разработка мнемосхемы SCADA-системы.....	67
3	Расчет параметров настройки регулятора	69
3.1	Идентификация объекта управления	69
3.2	Расчет параметров настройки регулятора	71
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	79
4.1	Предпроектный анализ.....	79
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	79
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	80
4.1.3	SWOT- анализ.....	82
4.2	Планирование комплекса работ НИР.....	84
4.2.1	Составление перечня проводимых работ	84
4.2.2	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	87
4.2.3	Потенциальные риски.....	95
4.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	96
5	Социальная ответственность.....	102

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	103
5.2. Производственная безопасность.....	106
5.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	107
5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	108
5.2.3 Превышение уровня шума	109
5.2.4 Психофизиологическое воздействие на организм человека	110
5.3 Повышенная напряженность электрического поля.....	110
5.4 Экологическая безопасность.....	111
5.4.1. Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду	111
5.4.2. Решения по обеспечению экологической безопасности.....	112
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	113
5.5.1 Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения	113
5.5.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.....	114
Заключение.....	116
Список публикаций студента.....	118
Список использованных источников	120
Приложение А Свойства огнетушащих растворов, суспензий и эмульсий.....	131
Приложение Б Заказная спецификация средств автоматизации	133
Приложение В Мнемосхема системы пожаротушения.....	136
Приложение Г Диаграмма Ганта	137
Приложение Д Determination of thermophysical and thermokinetic characteristics of forest combustible materials and the choice of a type of fire extinguishing agent for it	138
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.005 С1	Схема структурная

ФЮРА.421000.006 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.006 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.006 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.006 ВО	Общий вид щита управления
ФЮРА.421000.006 СБ	Сборочный чертеж щита управления

Введение

Пожары являются одними из самых распространенных чрезвычайных событий в современном мире [1–3], наносящих колоссальный материальный ущерб и связанных с гибелью людей. Согласно статистическим данным [2], Россия занимает первые позиции по числу погибших от пожаров.

Основная часть пожаров происходит на наиболее посещаемых участках бореальной зоны [1–3]: возле населенных пунктов, дорог, объектов хозяйственной деятельности (участках проведения обработки лесных материалов, их складирования). При этом основной причиной пожаров является деятельность человека (около 90 %).

В связи с этим в настоящее время особое внимание уделяется пожарной безопасности на объектах с повышенной пожарной опасностью (химическая, газовая, нефтяная, деревоперерабатывающие отрасли и т.д.). Каждый из таких объектов использует большое количество пожаровзрывоопасных веществ и относится к наиболее пожаровзрывоопасному классу.

Статистика показывает, что ежегодно на предприятиях деревообработки и складах с лесными материалами происходит около 1000 пожаров.

Вероятность возникновения пожаров на складах лесоматериалов обусловлена высокой пожароопасностью используемых материалов и веществ (например, необработанный лесоматериал, древесина, пиломатериал, щепа, опилки, древесная стружка, кора), а также технологического оборудования.

Несвоевременное обнаружение и тушение пожаров на таких объектах приводят к большому материальному ущербу, угрозе безопасности работающего персонала, неблагоприятным экологическим последствиям.

Одним из самых распространенных путей снижения рисков возникновения пожаров является оснащение предприятий современными автоматизированными системами пожаротушения. Также особый интерес представляет решение вопросов технического оснащения систем пожаротушения и выбор методов тушения.

Необходимо отметить, что в последнее время увеличивается тенденция развития тушения пожаров с использованием технологий тонкораспыленной

воды, водяного тумана и.т.д. [4]. Это связано с тем, что вода является наиболее распространённым, доступным, эффективным и экономически выгодным средством борьбы с пожарами.

Однако при использовании воды в качестве тушащего состава необходим большой ее расход. Также вода обладает следующими недостатками, которые могут осложнять процесс тушения пожаров: высокое поверхностное натяжение воды, а в связи с этим низкая эффективность смачивания поверхностей.

В качестве решения данной проблемы для повышения эффективности тушения пожаров, снижения расходов воды и увеличения скорости подавления горения и распространения пожара, предлагается использование специализированных добавок [5, 6].

Эффективность тушения достигается за счёт расширения возможностей воды, модифицирования ее свойств. Так, например, смачиватели (поверхностно-активные вещества) – понижают поверхностное натяжение воды и позволяют дробить объем воды на более мелкие капли, тем самым увеличивают смачиваемость водой лесных горючих материалов, позволяют водному раствору образовывать сплошной слой на поверхности горючего материала с целью изоляции его от кислорода воздуха.

Выбор добавок к воде осуществляется исходя из характеристик защищаемого объекта, горючих материалов, простоты подготовки тушащего состава на его основе, а также из экономических соображений.

На сегодняшний день существует большая база специализированных добавок к воде, которые способствуют увеличению вязкости огнетушащей жидкости или снижению ее поверхностного натяжения (смачиватели). Также выделяют пламегасители на основе солей и специальных растворов.

Опубликовано достаточно много работ по изучению влияния компонентного состава огнетушащих жидкостей на эффективность локализации и тушения лесных пожаров [7–13]. К наиболее распространенным огнетушащим добавкам к воде относятся: различные соли [11], поверхностно-активные вещества (ПАВ) и эмульгаторы, растворы бишофита, бентонита, порошок ОС-5.

Данные компоненты просты в приготовлении, доступны и эффективны для тушения пожаров на взрывопожароопасных объектах промышленности [8–12].

Необходимо отметить, что эффективное и быстрое тушение пожара может быть достигнуто в случае правильно подобранного средства тушения (тушащего состава) и обеспечения необходимой интенсивности и длительности распыла этого состава в очаг возгорания [14]. Выбор того или иного огнетушащего состава осуществляется на основе его характеристик и свойств, а также характеристик и свойств горючего объекта (лесоматериала). В связи с этим особый интерес представляет экспериментальное определение теплофизических и термокинетических характеристик лесного горючего материала (ЛГМ). В ходе исследований необходимо выявить основные свойства и особенности ЛГМ для подбора эффективного средства пожаротушения и использовать полученные результаты при разработке автоматизированной системы пожаротушения на складе лесоматериалов.

Цель работы – разработка автоматизированной системы пожаротушения, позволяющей применять разные огнетушащие составы при тушении крупных пожаров на складах лесоматериалов, а также экспериментальное определение теплофизических и термокинетических характеристик лесного горючего материала (ЛГМ) для обоснованного выбора наиболее эффективного тушащего состава.

1 Научно-исследовательская работа

1.1 Теплофизические и термокинетические характеристики лесных горючих материалов

По теплофизическим и термокинетическим характеристикам можно судить о свойствах материалов. Кроме того данные параметры необходимы для математического моделирования процессов термического разложения и горения горючих материалов, а также для определения условий локализации и подавления пожара и разработки эффективной автоматизированной системы пожаротушения, так как одной из областей применения математического моделирования динамики пожара является использование этих данных в алгоритмах работы средств пожарной автоматики (например, в системах пожарной сигнализации, автоматических установках пожаротушения: определение времен тушения и затраченных объемов тушащей жидкости и т.д.). Теплофизические и термокинетические характеристики также дают возможность количественно описать физико-химические явления при пожаре, которые зависят от геометрии помещения и вида горючих материалов, а также выбрать наиболее подходящий огнетушащий состав. В связи с этим актуальным остается экспериментальное исследование теплофизических и термокинетических характеристик ЛГМ для формирования базы данных, необходимой для развития теории пожаротушения.

1.1.1 Определение теплофизических характеристик лесного материала

В качестве исследуемых материалов выбраны горючие материалы, присутствующие на складах лесоматериалов и предприятий лесопереработки. На таких складах могут присутствовать как обработанная древесина (без коры, листвы, хвои и т.д), так и необработанный лесоматериал. В связи с этим для исследования выбраны наиболее типичные лесные горючие материалы [15]: древесина, листья, хвоя, смесь лесного материала. Материал собран на

территориях Сибирского, Центрального, Дальневосточного и Южного федеральных округов России.

На сегодняшний день существуют различные методы определения теплофизических характеристик (ТФХ) материалов: метод GHP (метод горячей охранной зоны), HFМ (метод теплового потока), HWM (метод горячей проволоки) и метод лазерной вспышки.

Для анализа волоконных материалов или вакуумных изоляционных панелей обычно применяют приборы для измерения теплового потока и приборы с горячей охранной зоной [16]. Для пористых материалов или материалов с высокой теплопроводностью, металлов или алмазных композитов применяются другие методы, например, метод лазерной вспышки, который позволяет получить более точные результаты. Преимуществом этого метода также является возможность быстрого измерения параметра с высокой точностью и воспроизводимостью. Теплопроводность в методе HFМ определяется путем измерения электрического напряжения – функции теплового потока при заданной разнице температур, проникающего через образец заданной толщины. Полученное значение напряжения используется для расчета скорости теплового потока. По скорости теплового потока рассчитывается значение теплопроводности. HFМ приборы требуют регулярной калибровки, для чего необходим калибровочный образец со значением теплопроводности, близким к ожидаемому значению у исследуемых образцов. Калибровка должна производиться по нескольким точкам в интервале значений теплопроводности образца ввиду отсутствия линейной зависимости между измеренным напряжением, теплопроводностью и толщиной образца. Поэтому, помимо теплопроводности, калибровочный образец должен также иметь толщину, близкую к той, которую имеет исследуемый образец. Чем больше различий между калибровочным и исследуемым образцами (по толщине и теплопроводности), тем ниже точность измерения. Калибровка GHP-прибора не требуется, результат всегда получается наиболее точным.

Представленные методы определения теплопроводности отличаются друг от друга главным образом видом материала и погрешностью измерения, размерами и геометрией образцов, используемых для тестирования.

В данной работе на основании анализа методов измерения теплофизических характеристик для определения коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и удельной теплоёмкости ЛГМ в лабораторных условиях выбран метод лазерной вспышки. Прошло более сорока лет с тех пор, как Паркер и Дженкинс [17], работающие в лаборатории радиологической защиты ВМФ США, выпустили свою технику, измерения которой основаны на методе лазерной вспышки. С тех пор этот фототермический экспериментальный метод распространен по всему миру и является самым популярным методом измерения температуропроводности твердого вещества. Кроме того, длительность измерения теплопроводности методом лазерной вспышки меньше по сравнению с остальными методами. Тот факт, что метод вспышки получил стандартный статус во многих странах признает его универсальность.

В [18, 19] изложена процедура определения теплопроводности методом лазерной вспышки прибором для исследования твердых и жидких тел LFA 427 фирмы NETZSCH. Представлены результаты испытаний композиционных материалов, иллюстрирующие возможности данного метода и доказывающие его эффективность.

Для проведения экспериментов в настоящей работе использовалась система DLF-1200 TA Instruments (рисунок 1.1.1.1a) [15].

Принцип действия данной установки основан на измерении скорости распространения теплового импульса в слое образца.

Система позволяет проводить измерения до 1500 К. Преимуществами этого метода является высокая скорость измерения с высокой точностью и воспроизводимостью. Суть метода заключается в равномерном облучении одной плоскости небольшого дискообразного образца коротким импульсом энергии.

Температурно-временная зависимость на нижней поверхности регистрируется твердотельным оптическим датчиком со сверхбыстрым

откликом (рисунок 1.1.1.1б). Температуропроводность определяется на основе полученной термограммы. На основе полученного значения и значения плотности образца, можно рассчитать теплоемкость и теплопроводность.

Погрешность измерения коэффициента температуропроводности не превышает 2,3 %, теплоемкости – 4 % и теплопроводности материала – 5 %.

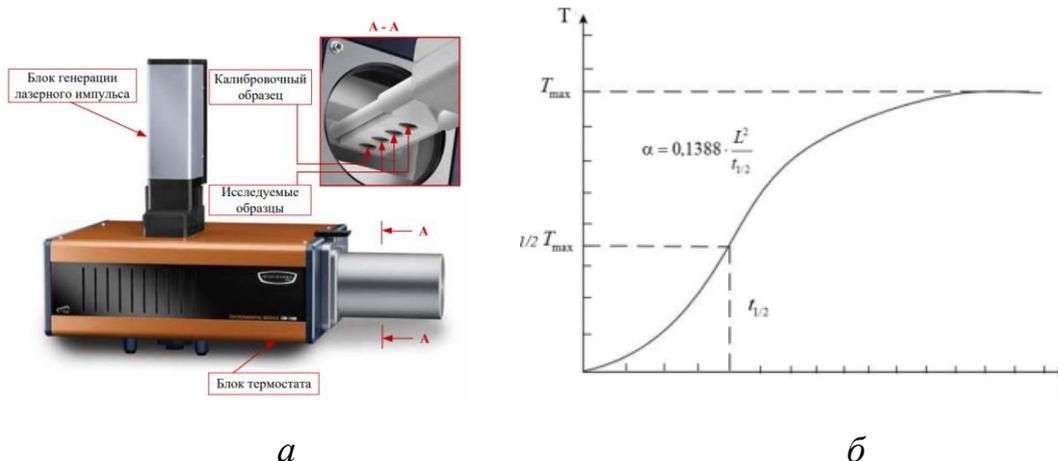


Рисунок 1.1.1.1 – Схема установки для определения теплофизических характеристик веществ (а); зависимость температуры задней поверхности образца от интервала времени (б)

Образцы подготавливались в несколько этапов [15]. Измельчение ЛГМ проводилось с использованием быстроходной роторной мельницы Pulverisette 14 (скорость вращения ротора 10...333 об/с, размер частиц 0,2 мм). Таким образом подготавливалась навеска порошков исследуемых материалов (масса около 0,25...0,3 г), которая в дальнейшем с использованием гидравлического пресса спрессовывалась в образцы цилиндрической формы.

Размеры образцов соответствовали требованиям, предъявляемым используемой измерительной системе (диаметр 12,5 мм, высота не более 3 мм).

Далее образцы лесного материала помещались в термостат. Рабочий объем термостата для охлаждения ИК-датчика заполнялся жидким азотом.

Для проведения измерений использовался калибровочный образец (Pyrex7740), который загружался в модуль термостата одновременно с тестируемыми образцами. Для тестируемых образцов определялись массы, высота, диаметр и плотность, которые затем заносились в ПО системы.

Для измерения высоты и диаметра образцов использовался микрометр (систематическая погрешность измерений составила 0,005 мм). Для измерения массы использовались аналитические весы Pioneer PA114 (систематическая погрешность измерений составила 0,00005 г). Единоновременно в термостат загружались калибровочный образец и 3 образца лесного материала одной марки. Для каждого образца проводилось 5 измерений, после чего результаты усреднялись.

1.1.2 Измерение термокинетических характеристик лесного материала

Определение термокинетических характеристик осуществлялось методами, включающими термогравиметрический и дифференциально-термический анализ, а также дифференциально-сканирующую калориметрию [18, 19].

Для проведения измерений использовался синхронный термоанализатор NETZSCH STA 449F3 (рисунок 1.1.2.1а) с широким температурным диапазоном (-150 °С...2400 °С) и позволяющий проводить измерения в инертной и окислительной атмосферах [15]. Схема экспериментальных исследований приведена на рисунке 1.1.2.1б.

Измерения проводились в следующих условиях: масса образцов – 25 мг, температура нагрева – 300...1270 К, скорость нагрева – 0,17 К/с в среде кислорода и аргона, расход газа 0,002 л/с.

Кинетические параметры пиролиза лесного материала (энергия активации термического разложения и предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса) вычислялись с использованием методики, изложенной в [20]. Считалось, что исходный материал A последовательно разлагается и образует промежуточный твердый продукт B и летучий продукт P_1 . Затем продукт B переходит в следующий промежуточный продукт C с выделением летучего продукта P_2 и т.д (рисунок 1.1.2.1б).

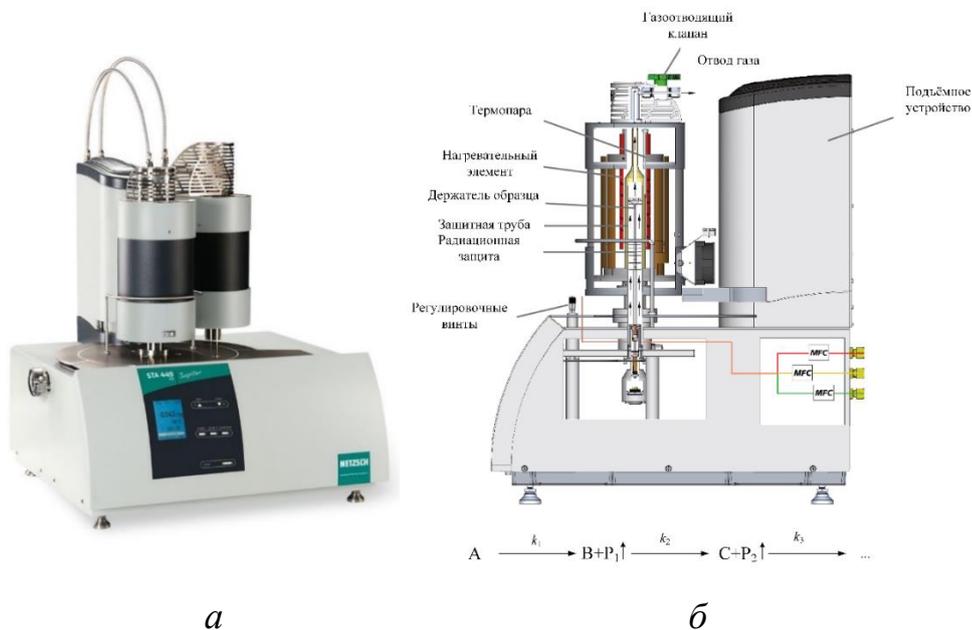


Рисунок 1.1.2.1 – Схема установки для определения термокинетических характеристик веществ: *а* – синхронный термоанализатор NETZSCH STA 449F3, *б* – условная схема эксперимента

Кинетическая кривая выделения летучих веществ из материала состояла из двух S-образных участков (рисунок 1.1.2.2). Это связано с тем, что сначала в соответствии с уравнением Аррениуса скорость деструкции материала увеличивалась, после чего происходило ее уменьшение вследствие разложения материала.

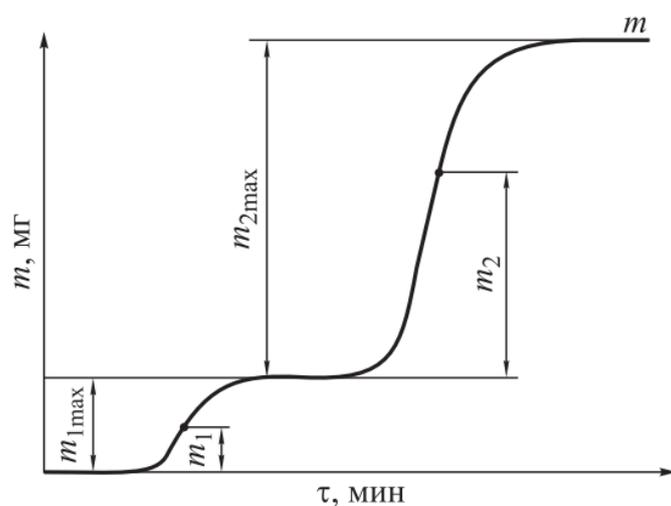


Рисунок 1.1.2.2 – Кривая выделения летучих веществ при термической деструкции

Каждая из стадий имеет свои кинетические параметры, которые рассчитываются с использованием уравнения Аррениуса:

$$K = k \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right).$$

На рисунке 1.1.2.3 приведены термогравиметрические кривые в инертной атмосфере для хвои сосны. На кривых скорости потери массы можно отметить два пика потери массы: основной «низкотемпературный» пик потери массы, который связан с разложением органической массы ЛГМ и образования летучих веществ и «высокотемпературный» максимум потери массы.

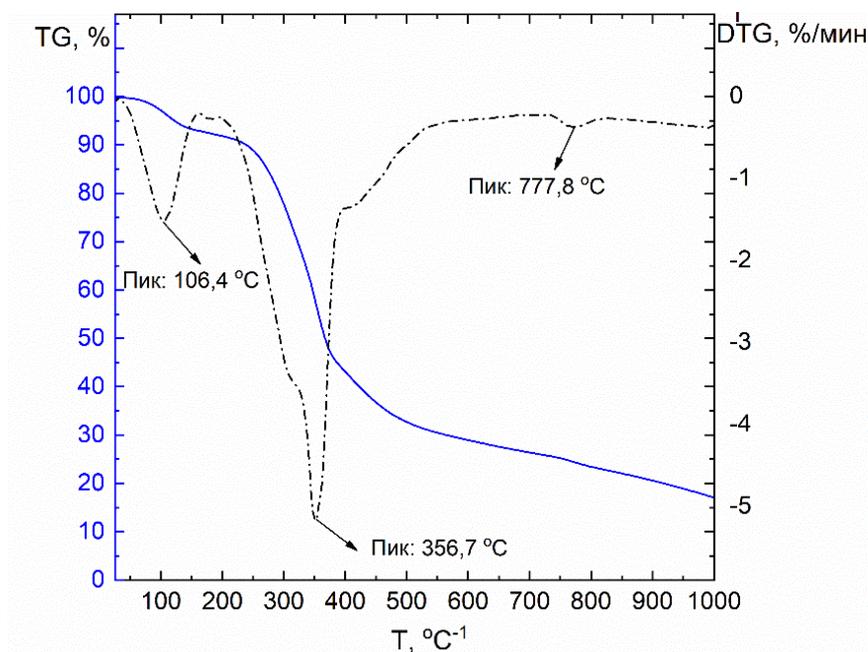


Рисунок 1.1.2.3 – Термогравиметрические кривые потери массы и скорости потери массы для образцов хвои

Далее данные термогравиметрии линеаризуются в координатах

$$\ln \frac{\frac{dm_i}{d\tau}}{m_{i_{\max}} - m_i} - 1000/T \quad (\text{рисунок 1.1.2.4}).$$

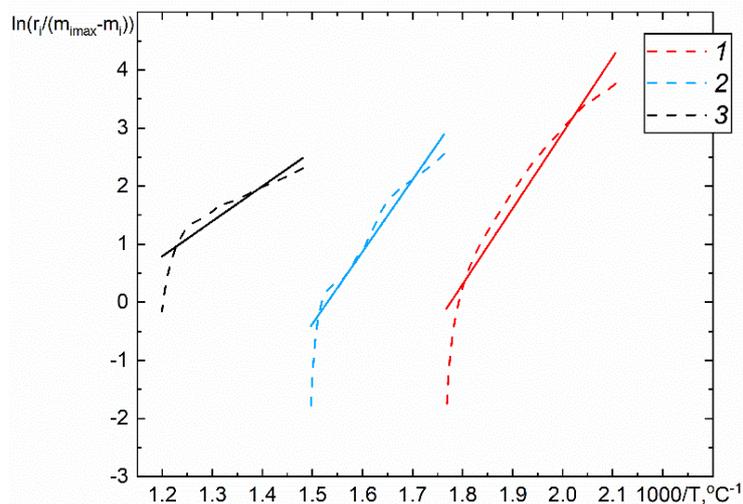


Рисунок 1.1.2.4 – Линеаризация температурной зависимости скорости термодеструкции хвои сосны

Кинетические константы определялись графически. Для этого строился график в координатах $\ln(k)=f(1/T)$. Здесь k – скорость потери массы образца, T – температура. Энергия активации определялась из уравнения по величине угла наклона соответствующей прямой, а по точке пересечения последней с вертикальной осью определялась величина предэкспоненциального множителя.

1.1.3 Результаты экспериментальных исследований

Полученные теплофизические свойства приведены в таблице 1.1.3.1. Измерения проведены для диапазона температур, который соответствует реальным условиям термического разложения материала (298...423 К) [15].

На рисунке 1.1.3.1 приведены полученные экспериментальные данные значений теплоемкости и теплопроводности ЛГМ. Для всех рассмотренных ЛГМ замечен существенный рост удельной теплоемкости с увеличением температуры.

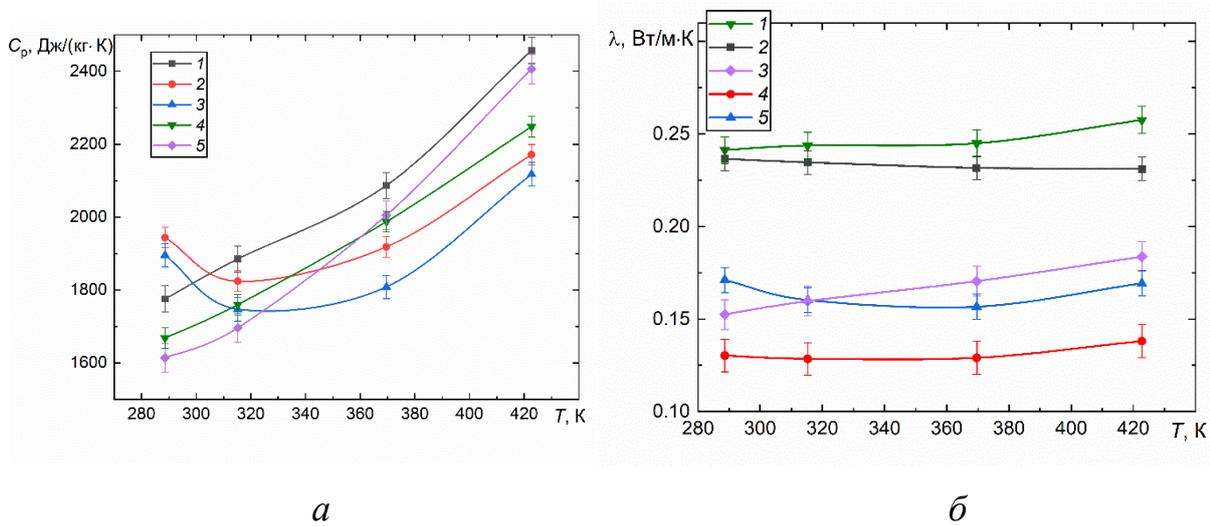


Рисунок 1.1.3.1 – Теплоемкость (а) и теплопроводность (б) ЛГМ: 1– хвоя сосны, 2 – листья осины, 3 – шишки, 4 – ветки березы, 5 – кора деревьев

Можно заметить (рисунок 1.1.3.1б), что для образцов хвои и листы значения теплопроводности максимальны. Чуть меньшие значения характерны шишкам и коре и наименьшее значение соответствует веткам.

Таблица 1.1.3.1 – Значения теплофизических характеристик ЛГМ [15]

	Тип ЛГМ	Экспериментальные данные в диапазоне температур 25...150 °С		
		λ , Вт/(м·К)	C_p , Дж/(кг·К)	α , см ² /с
Сибирский ФО	Хвоя сосны	0,35...1,18	1618...2409	0,0008...0,0007
	Листья березы	0,22...0,23	1856...2651	—
	Ветки (50 % ветки березы, 50 % ветки ели)	0,15...0,16	1546,5...2410,06	0,0011...0,0008
	Кора березы	0,12...0,14	1774...2173	0,001...0,0007
Уральский ФО	Листья клена	0,236...0,245	1791,5...2350,38	0,0015...0,0012
	Листья липы	0,236...0,246	1799,73...2243,55	0,0014...0,0011
	Листья осины	0,24...0,25	1663...2237,9	0,0017...0,0014
	Смесь ЛГМ (25 % веток можжевельника, 35 % веток хвои, 15 % листья осины, 25 % листья рябины)	0,236...0,221	1790,13...2179,83	0,0026
Южный ФО	Смесь веток (50 % орешника, 35 % тополя, 15 % ивы)	0,24...0,21	1987,26...2260,71	0,0016...0,0012
	Смесь листьев (50 % орешника, 35 % тополя, 15 % ивы)	0,25...0,24	1622,13...2105,7	0,002...0,0016
Дальне-восточный ФО	Ветки березы	0,236...0,231	1779,33...2448,33	0,0018...0,0013

Продолжение таблицы 1.1.3.1

	Тип ЛГМ	Экспериментальные данные в диапазоне температур 25...150 °С		
		λ , Вт/(м·К)	C_p , Дж/(кг·К)	α , см ² /с
Дальне-восточный ФО	Кора березы	0,3...0,25	1862,6...2441,8	0,002...0,0012
	Смесь веток (60 % ветки ели, 40 % ветки березы)	0,243...0,266	1520,23...2157,73	0,0022...0,0018

Из анализа полученных данных можно сделать следующие выводы. Для всех рассмотренных ЛГМ заметен существенный рост удельной теплоемкости с увеличением температуры, в то время как теплопроводность горючих материалов с ростом температуры изменяется незначительно.

Термокинетические характеристики лесоматериалов представлены в таблице 1.1.3.2 и 1.1.3.3. Измерения проводились в температурных диапазонах 430...540 К, 540...630 К и 630...840 К в инертной и окислительной атмосферах.

Таблица 1.1.3.2 – Значения термокинетических характеристик процесса пиролиза ЛГМ в инертной атмосфере [15]

Местонахождения	Тип ЛГМ	E , кДж/моль	k , 1/с	E , кДж/моль	k , 1/с	E , кДж/моль	k , 1/с
		Диапазон температур, К					
		430...540		540...630		630...840	
Сибирский ФО	Листья березы	102,36	$2,93 \cdot 10^9$	74,61	$8,55 \cdot 10^5$	49,46	$8,52 \cdot 10^2$
	Хвоя сосны	91,57	$1,81 \cdot 10^6$	80,91	$2,06 \cdot 10^6$	50,6	$2,96 \cdot 10^1$
	Ветки	87,24	$3,13 \cdot 10^8$	115,67	$2,04 \cdot 10^{12}$	21,39	$5,44 \cdot 10^0$
	Кора	108,66	$8,86 \cdot 10^7$	151,20	$3,32 \cdot 10^9$	26,73	$1,04 \cdot 10^1$
Уральский ФО	Смесь ЛГМ (25 % веток, 35 % хвои, 40 % листья)	76,02	$5,6 \cdot 10^6$	93,89	$4,76 \cdot 10^7$	21,35	$4,34 \cdot 10^0$
	Листья клена	–	–	56,09	$3,52 \cdot 10^4$	15,75	$1,02 \cdot 10^0$
	Листья липы	120,3	$4,14 \cdot 10^{11}$	75,37	$1,39 \cdot 10^6$	22,62	$5,77 \cdot 10^0$
	Листья осины	88,84	$1,35 \cdot 10^8$	75,29	$1,34 \cdot 10^6$	29,26	$2,04 \cdot 10^1$

Продолжение таблицы 1.1.3.2

Местонахождения	Тип ЛГМ	E , кДж/моль	k , 1/с	E , кДж/моль	k , 1/с	E , кДж/моль	k , 1/с
		Диапазон температур, К					
		430...540		540...630		630...840	
Южный ФО	Смесь веток (50 % орешник, 35 % тополь, 15 % ива)	75,75	$2,48 \cdot 10^6$	102,83	$2,89 \cdot 10^8$	22,83	$5,6 \cdot 10^0$
	Смесь листьев (50 % орешник, 35 % тополь, 15 % ива)	–	–	61,32	$6,41 \cdot 10^4$	23,44	$7,49 \cdot 10^0$
Дальне- восточный ФО	Ветки березы	77,27	$4,83 \cdot 10^6$	93,49	$2,95 \cdot 10^7$	13,46	$1,21 \cdot 10^0$
	Кора березы	139,58	$1,86 \cdot 10^{13}$	93,50	$7,27 \cdot 10^7$	14,16	$1,09 \cdot 10^0$
	Смесь веток (60 % ель, 40 % береза)	70,34	$1,46 \cdot 10^6$	97,82	$9,86 \cdot 10^7$	20,57	$4,28 \cdot 10^0$

Таблица 1.1.3.3 – Значения термокинетических характеристик пиролиза ЛГМ в окислительной атмосфере при температуре 430...840 К [15]

Местонахождение	Тип ЛГМ	E , кДж/моль	k , 1/с
		430...840 К	
Сибирский ФО	Листья березы	34,36	$1,43 \cdot 10^2$
	Хвоя сосны	154,33	$1,04 \cdot 10^{11}$
	Ветки	130,81	$3,73 \cdot 10^{10}$
	Кора	148,13	$7,64 \cdot 10^8$
Уральский ФО	Листья липы	69,62	$1,27 \cdot 10^{14}$
	Листья осины	91,02	$6,53 \cdot 10^6$
	Смесь ЛГМ (25 % веток, 35 % хвой, 40 % листья)	91,5	$5,59 \cdot 10^6$
Южный ФО	Смесь веток (50 % орешник, 35 % тополь, 15 % ива)	58,7	$8,83 \cdot 10^3$
	Смесь листьев (50 % орешник, 35 % тополь, 15 % ива)	106,6	$7,04 \cdot 10^7$
Дальневосточный ФО	Ветки березы	99,93	$2,32 \cdot 10^7$
	Кора березы	176,22	$6,11 \cdot 10^{13}$
	Смесь веток (60 % ель, 40 % береза)	85,89	$1,09 \cdot 10^6$

Неодинаковые теплофизические свойства и кинетика термодеструкции рассмотренных материалов обусловлены различием химического состава данных материалов, что, в свою очередь, свидетельствует о необходимости его учета при выборе тушащего состава. Наибольшее значение энергий активации на всех стадиях разложения характерно коре и хвое сосны, что связано с пористостью и неоднородностью данного материала.

Необходимо отметить, что важным результатом проведенных исследований является также получение информационной базы с теплофизическими и термокинетическими свойствами лесных горючих материалов. До настоящего времени такая база отсутствует, что в свою очередь приводит к существенным ограничениям, связанным с развитием моделей достоверного прогнозирования условий термической деструкции и пламенного горения лесных материалов при разных внешних условиях.

1.2 Выбор огнетушащих составов для лесных материалов

Механизм тушения пожара и требуемый вид огнетушащей жидкости, а также способ ее подачи на объект будут существенно зависеть от вида пожара, видов и характеристик горючего материала, режимов его горения, и в конечном счете влиять на результат локализации возгорания.

Так, по способу прекращения горения вода относится к охлаждающим очаг возгорания средствам тушения. Температура горючего вещества при этом снижается до значения ниже температуры его воспламенения. Тонкораспыленная вода или водяной пар оказывают разбавляющее действие. Они снижают содержание кислорода в очаге возгорания. Сухие порошки и различные растворы оказывают изолирующее действие – изолируют горячую поверхность от кислорода воздуха.

Основным средством тушения пожаров является вода, высокая огнетушащая способность которой обусловлена ее высокой теплоемкостью. Однако при этом вода имеет высокое значение поверхностного натяжения и в связи с этим недостаточную проникающую способность для некоторых пористых материалов и материалов со сложной структурой. Для того, чтобы

повысить смачивающую (проникающую) способность воды, в нее добавляют различные смачиватели и пенообразователи. В этом случае тушение пожара происходит более эффективно, особенно при тушении пористых и волокнистых материалов. Также при добавлении таких химических веществ усиливаются огнегасящие свойства воды.

Кроме того, тушение неоднородных материалов предпочтительнее реализовывать с использованием огнетушащих составов на основе различных добавок, а не чистой воды. Это связано с тем, что вода будет испаряться быстрее, в то время как добавки, используемые для создания огнетушащих составов, будут оставаться на поверхности горючего материала и не давать им гореть, а также удерживать воду на поверхности ЛГМ [21]. Также, например, применение таких специализированных добавок, как смачиватели, увеличивает дисперсность капель распыляемой тушащей жидкости. А при использовании в качестве добавок бентонита или пенообразователя, повышается вязкость состава, что приводит к образованию более крупных капель (капли достигают очага возгорания при этом не испаряясь).

Свойства наиболее распространённых компонентов и приготовленных растворов, суспензий и эмульсий для тушения лесных горючих материалов приведены в приложении А [21–29]. Из таблицы А.1 (приложение А) видно, что из указанных огнетушащих составов огнезадерживающей способностью обладают только раствор бентонита, бишофита и раствор ОС-5. Это означает, что данные составы при тушении лесных горючих материалов придают им негорючие свойства на более чем 24 часа.

В качестве добавки к воде при подготовке тушащего состава широкое распространение получил смачиватель СП-01. Данный состав за счет снижения поверхностного натяжения воды эффективен при тушении волокнистых пористых и гидрофобных горючих материалов. Данным составом рекомендуется тушить плохосмачиваемые водой ЛГМ, а также горение, сопровождающееся тлением. Огнетушащие составы на основе СП-01 не обладают огнезадерживающими свойствами. При использовании в качестве тушащего состава раствора бишофита на поверхности материала создается поверхностный

коксовый слой, препятствующий распространению огня. Огнетушащий раствор на основе порошка ОС-5 оказывает изолирующее действие и придает ЛГМ свойства пожароустойчивости. Состав ОС-5 применяется в виде 5...15 % раствора. Эффективна в качестве тушащего состава и суспензия бентонита, имеющая глинистую структуру и оказывающая изолирующее действие – после попадания на поверхность ЛГМ образуется пленка, не пропускающая воздух.

В связи с тем, что свойства и характеристики тушащих составов отличаются, то действие каждого из составов также отличается (в основном это зависит от структуры поверхности материала, способности тушащего состава проникать в слой ЛГМ или удерживаться на его поверхности, создавая защитный слой), целесообразным является составление рекомендаций по использованию таких составов для определенных групп лесных материалов, структура и свойства которых различны. Так, например, согласно [22], где в качестве исследуемых лесных материалов рассматривались мох, лишайник, и торф, установлено, что наибольшая скорость увлажнения соответствовала мху, имеющему воздушную пористую структуру (поверхность). Наибольшее время смачивания установлено для лишайника, поверхность которого имеет плотную, практически водонепроницаемую структуру. Также в [22] установлено, что время смачивания всех рассмотренных ЛГМ уменьшается с увеличением концентрации тушащих составов, и несмотря на то, что поверхностное натяжение составов после определённой концентрации практически не снижается, время смачивания ЛГМ уменьшается. Согласно [24], наибольший эффект при тушении древесины достигается за счет применения растворов бентонита и бишофита. Прекращение горения обеспечивается за счет создания на поверхности материала защитного теплоизолирующего слоя. В связи с этим бентонит и бишофит – основные рекомендуемые средства при тушении древесины.

При тушении пожаров, возникающих в хвойных и лиственных структурах, а также пористом горючем материале (например, кора) предпочтительнее использование воды со смачивателями или пенообразователями (например, пенообразователь «Прогресс», «Файрекс»). Это связано с тем, что вода лишь

частично проникает в толщу пористого материала, оставаясь на поверхностном слое, в то время как вода со смачивателями обладает большей проникающей способностью. Также по данным таблицы А.1 (приложение А) видно, что эмульсии на основе пенообразователей обладают наибольшей средней способностью удержания на ЛГМ (более 74 % [26]).

Также в связи с повышенной проникающей способностью смачивателей и пенообразователей (о чем можно судить по меньшему времени смачивания ЛГМ), целесообразно их применение при тушении устойчивых пожаров, возникающих в структурно неоднородных материалах, кинетические параметры которых завышены, и когда применение воды становится малоэффективным.

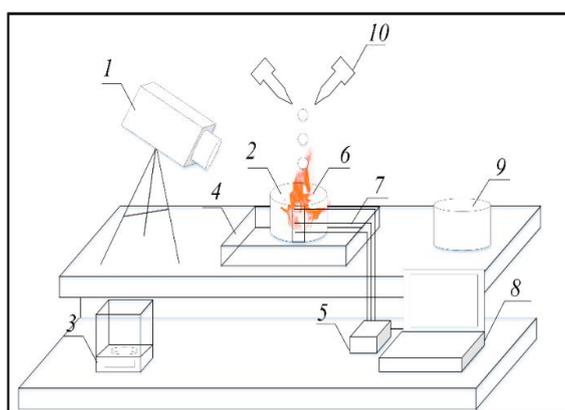
Таким образом, в разрабатываемой автоматизированной системе пожаротушения в качестве добавок к воде с целью создания эффективных огнетушащих составов, необходимых для тушения пожаров на складах лесоматериалов, выбираем эмульсию на основе пенообразователя и раствор бишофита, обладающий огнезадерживающей способностью и предотвращающий повторное развитие пожара на складе.

1.3 Подавление термического разложения ЛГМ под воздействием жидких аэрозолей и капель воды со специализированными добавками

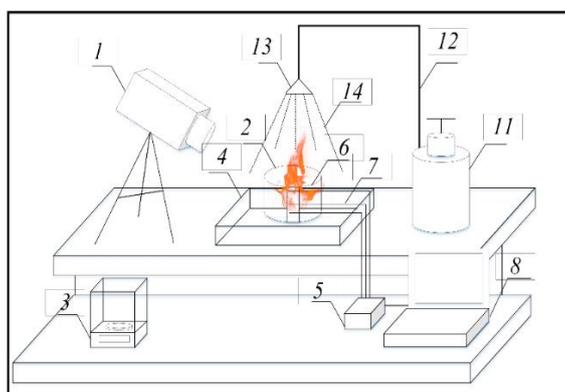
Важным является экспериментальное определение интегральных характеристик подавления горения водой, содержащей специализированные добавки, с целью определения их эффективности.

Для исследования использовался стенд, представленный на рис. 1.3.1. Регистрация процесса подавления горения осуществлялась с использованием высокоскоростной цифровой CMOS-видеокамеры Phantom V411 (максимальное разрешение 1280 × 1280 пикселей). Модуль аналогового ввода «National Instruments NI 9216» использовался для подключения датчиков температуры (термоэлектрические преобразователи ХА (К), диапазон измеряемых температур 223...1473 К, систематическая погрешность ± 3 К, тепловая инерционность – не более 0,1 с). Взвешивание ЛГМ проводилось на лабораторных весах ViBRA (с точностью до 10⁻⁵ г).

В качестве исследуемых лесных материалов выбраны листья, хвоя, древесина и смесь лесного материала (25 % – листья, 15 % – хвоя, 60 % – ветки). Для создания модельных очагов с лесным материалом использовался гофрированный цилиндр из фольги (диаметр d_f). В качестве исследуемых добавок к воде выбраны смачиватель «Прогресс» и пенообразователь специального назначения типа AR. Объёмная концентрация данных добавок к воде составляла 1 %. Растворы с данными добавками подготавливались механическим перемешиванием.



а



б

Рисунок 1.3.1 – Схема экспериментального стенда (*а*) – одиночные капли; (*б*) – аэрозоль: 1 – высокоскоростная видеокамера; 2 – цилиндр с ЛГМ; 3 – лабораторные весы; 4 – металлический лоток; 5 – высокоскоростной модуль аналогового ввода; 6 – ЛГМ; 7 – термопары; 8 – ПК; 9 – бак с жидкостью; 10 – одноканальный дозатор; 11 – бак с охлаждающей жидкостью; 12 – канал подачи охлаждающей жидкости; 13 – распылительная форсунка; 14 – жидкий аэрозоль

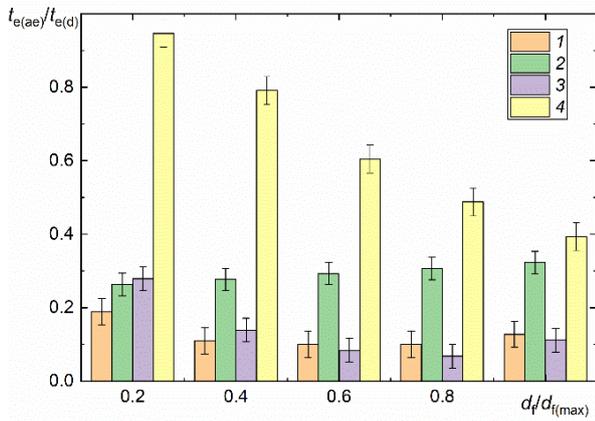
Проведение экспериментов проходило в несколько этапов. На первом изучались особенности и времена выгорания для каждого типа лесного материала. На втором этапе регистрировались времена подавления термического разложения (t_d) ЛГМ при подаче отдельных последовательных капель. На третьем этапе определялись времена тушения очага возгорания жидкостным аэрозолем (t_{ae}).

Для генерирования отдельных капель использовались два электронных дозатора Finnpiquette Novus. Радиус капель составлял $R_d \approx 1,5$ мм, объём капель – $1,5 \cdot 10^{-5}$ л. Капли генерировались с частотой 1 капля за 2 секунды. Подача капель осуществлялась до полного подавления горения. Условия подавления горения фиксировались по результатам показаний термопары.

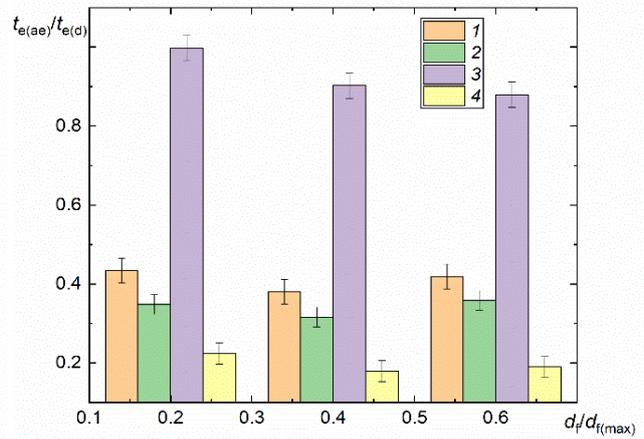
На третьем этапе на поверхность лесных материалов распылялся аэрозольный поток: в момент, когда показания двух термопар превышали температуру термического разложения ($T_{if} \approx 120$ °С), осуществлялось открытие запорного клапана и подача воды через распылительные насадки. Для создания капель водяного аэрозоля применялся комплект специализированных распылительных форсунок, генерирующих капли с размерами (радиусами) 0,01...0,1 мм. Подача аэрозоля осуществлялась до момента полного подавления возгорания модельного очага.

Времена подавления горения фиксировались по показаниям термопары. Для каждого модельного очага проводилось 15...20 экспериментальных исследований, после чего осуществлялась выборка экспериментальных значений $t_{e(ae)}$, $t_{e(d)}$, отличающиеся менее чем на 5 % для идентичных экспериментальных условий. Ошибка в определении значений t_b и t_e обусловлена инерционностью термопары (не более 1 с).

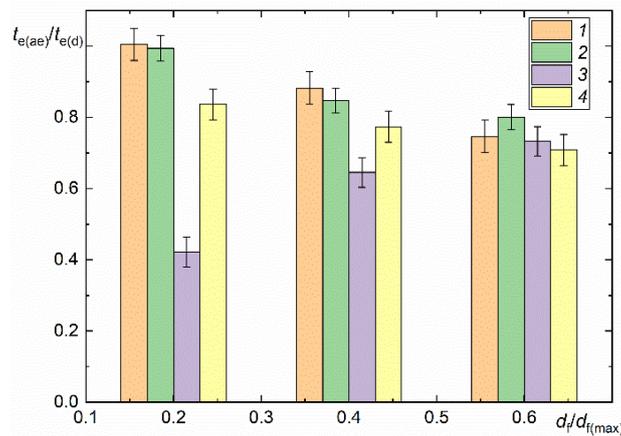
Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены на рисунке 1.3.2.



a



б



в

Рисунок 1.3.2 – Значения $t_{e(ae)}/t_{e(d)}$ в зависимости от $d_f/d_{f(max)}$ для ЛГМ под воздействием жидкого аэрозоля и единичных капель: *a* – вода, *б* – смачиватель «Прогресс», *в* – пенообразователь; 1 – хвоя; 2 – смесь ЛГМ; 3 – листья; 4 – кора

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод об эффективности тушения возгорания лесных горючих материалов жидким аэрозолем со специализированными добавками. Зарегистрированные времена завершения реакции термического разложения намного меньше, чем времена выгорания модельных очагов. Кроме того полученные экспериментальные результаты (рис. 1.3.2) определения времени подавления реакции пиролиза ЛГМ (например, для листьев березы) позволяют сделать вывод о необходимости добавления в воду пенообразователей и смачивателей. Также видно, что в случае хвои и коры наиболее эффективным тушащим составом является пенообразователь.

Огнестойкие (например, пенообразователь типа «AR») составы приводят к увеличению вязкости охлаждающей жидкости и, как следствие, повышают ее огнетушащие свойства. Добавление же поверхностно-активных добавок (смачиватели, в частности, «Прогресс»), напротив, значительно снижает поверхностное натяжение воды, что способствует значительному увеличению его растекаемости по поверхности и способствует дроблению огнетушащего состава на мелкие капли.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о целесообразности добавления в воду пенообразователей. Установлены близкие значения подавления времени реакции термического разложения ЛГМ при тушении аэрозолем и каплями на основе пенообразователя.

2 Проектирование автоматизированной системы пожаротушения

2.1 Системный анализ объекта автоматизации

Объектом автоматизации является технологическое оборудование системы пожаротушения складов лесоматериалов.

Ежегодно в России на предприятиях и заводах, связанных с переработкой и хранением лесных материалов, регистрируется несколько десятков пожаров. Наибольшую угрозу при этом представляют пожары на складах лесоматериалов.

Это связано с тем, что для складов лесоматериалов характерно наличие такого опасного фактора как воспламеняемость лесных горючих материалов, расположенных на складе. К складским лесным горючим материалам при этом относятся необработанный лесоматериал, пиломатериал, щепа, опилки, древесная стружка, кора и т.д. Высокая пожароопасность таких складов связана с высокой скоростью распространения горения лесного материала, большим тепловым излучением от горящей древесины, а также слабая оснащённость складов средствами обнаружения возгорания и пожаротушения.

Пожар на складах с лесными материалами трудно поддается тушению, что связано со скоплением в одном месте большого количества горючего сырья и скорости распространения огня. Кроме того, пренебрежение пожарной безопасностью на складах всегда связано с значительными материальными потерями и даже со смертельными случаями.

Склады пило- и лесоматериалов согласно НПБ 110-03 входят в перечень зданий, помещений и сооружений, подлежащих оборудованию установками автоматического пожаротушения. Пожары на закрытых складах лесоматериалов согласно ГОСТ 27331-87 относятся к классам пожаров «А» (горение твердых веществ). Рекомендуемыми средствами пожаротушения согласно ГОСТ 27331-87 для пожаров классов «А» являются: пена, тонкораспыленная вода (ТРВ), вода с добавкой фторированного ПАВ, бентонит, хладоны, CO₂, порошки.

При этом основным и наиболее распространенным веществом, используемым для тушения пожаров на лесоскладах, является вода.

Повышение эффективности тушения пожара можно достичь с использованием разнообразных добавок к воде. Так, например, использование воды со смачивателями значительно повышает эффективность тушения. В качестве смачивателя в воду добавляются, как правило, различные пенообразующие вещества. Наибольший эффект при локализации и тушении пожаров на лесоскладах достигается при применении растворов бентонита и бишофита. Наилучший результат в тушении горящей древесины при использовании растворов бентонита и бишофита обеспечивается за счет того, что на поверхности создается защитный теплоизолирующий слой. При этом вода, практически полностью остается в указанном защитном слое. Также при нанесении раствора бишофита на поверхность древесины ускоряется процесс образования защитного коксового слоя.

В настоящей работе в качестве основного состава для тушения пожара выбрана тонкораспыленная вода. В качестве дополнительных средств тушения возгорания лесного материала приняты тушащие составы на основе воды с использованием пенообразователя и бишофита.

В состав системы водяного пожаротушения входят общий подводящий трубопровод, от которого осуществляются отводы на секционные узлы управления с быстродействующими запорными устройствами, питающий и распределительный трубопровод, а также различные оросители.

Кроме того любая система пожаротушения состоит из следующих основных элементов:

- средства обнаружения пожара (механические или электрические извещатели (извещатели пламени тепловые, извещатели пламени дымовые, извещатели пламени комбинированные и т.д.);
- резервуары хранения огнетушащего вещества (баки с водой, баки с огнетушащим составом);
- насосное оборудование (питающий насос, основные и резервные насосы);
- запорная арматура – клапаны, вентили и задвижки;
- распылители (дренчеры, форсунки, спринклеры);

– измерительные приборы и средства автоматического управления (расходомеры, датчики температуры, датчики давления, исполнительные механизмы, пусковые устройства и т.д.).

В таблице 2.1.1 перечислены параметры системы пожаротушения тонкораспыленной водой согласно группе помещения [30].

Таблица 2.1.1 – Требования к параметрам системы пожаротушения ТРВ

Наименование параметра	Значение параметра
Минимальная интенсивность орошения, л/(с·м ²)	0,04
Минимальный свободный напор перед оросителем, МПа	0,5
Площадь для расчета расхода воды, м ²	90
Максимальное расстояние между оросителями, м	3
Расстояние от оси оросителя до стены:	
– максимальное, м	1,5
– минимальное, м	0,2

Из анализа таблицы 2.1.1, а также исходя из нормативных документов и сводов правил по пожаротушению, составлены основные требования, предъявляемые к разрабатываемой АСПТ:

- расчетное время пожаротушения 900 с;
- время заполнения водой защищаемого объема при локальном тушении не должно превышать 180 с (согласно своду правил СП 5.13130.2009);
- минимальная интенсивность орошения 0,04 л/(с·м²);
- начальный размер капель распыленного потока воды 0,35 мм;
- максимальная высота установки оросителей – 3 метра.
- система должна иметь трехуровневую архитектуру;
- комплекс технических средств АСУ должен быть достаточным для выполнения всех автоматизированных функций;
- предел основной допускаемой погрешности регулирования $\pm 5 \%$;
- требование к максимальной надежности и безопасности;
- система должна быть основана на микропроцессорной технике;
- необходимо осуществление непрерывного регулирования, обеспечивающего автоматическое поддержание технологических параметров вблизи заданного значения;

– технические средства АСУ необходимо размещать с соблюдением требований, отраженных в технической, эксплуатационной документации на них, и таким образом, чтобы их использование было удобным при функционировании АСУ и выполнении технического обслуживания;

– общие эргономические требования, которые регламентируют организацию рабочего места, взаимное расположение средств отображения информации, органов управления и средств связи в пределах рабочего места - по ГОСТ 22269-76, в том числе пультов - по ГОСТ 23000-78;

– система должна быть выгодна с экономической точки зрения.

2.2 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления

Разрабатываемая автоматизированная система пожаротушения необходима для своевременного обнаружения и тушения пожара на складах лесоматериалов.

Основными функциями автоматизированной системы пожаротушения (АСПТ) являются [31]:

– сбор информации от пожарных извещателей различных типов, имеющих контактный, токовый (0...20 мА) или цифровой выход (RS-485 Modbus);

– сбор информации с первичных датчиков и преобразователей, контроль температуры, уровня в резервуарах, давления в трубопроводах;

– оповещение персонала о возникновении пожара (включение световых табло и оповещение звуковыми сигналами);

– обработка полученной информации, сравнение параметров с уставками и формирование команд управления;

– отображение получаемой информации в виде мнемосхемы;

– регистрация событий в режиме реального времени.

АСПТ также должна обеспечивать распыливание воды со следующими параметрами: размеры капель в потоке 0,1...0,25 мм, начальная скорость капель 1...3,5 м/с [32].

АСПТ должна иметь трехуровневую структуру и строиться на базе микропроцессорной техники. Верхний уровень включает автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Автоматизированное рабочее место представляет собой комплекс технических и программных средств автоматизации и включает в себя персональный компьютер, принтер, сканер, средства сетевой связи.

Средний уровень должен быть представлен в виде программируемого логического контроллера (ПЛК).

Нижний уровень системы пожаротушения представляет собой совокупность автоматических пожарных извещателей пламени и задымления, средств измерения давления, уровня и температуры, сигнализаторов, устройств управления.

Сигнал о наступлении пожара поступает с пожарных извещателей (тепловых, дымовых или комбинированных). Извещатели пламени подключаются к ПЛК через шлейфы пожарной сигнализации (по кольцевой или радиальной схеме). Датчики выполняются во взрывозащищённом исполнении. На шлейфе пожарной сигнализации обязательно наличие не менее двух извещателей с целью исключения ложного срабатывания системы пожаротушения. Для ручного включения сигнализации используются ручные пожарные извещатели.

Важным элементом в работе АСПТ является автоматический контроль целостности шлейфов пожарных извещателей, который должен обеспечиваться по всей их длине. Это может быть достигнуто несколькими вариантами: предусмотренный в самом извещателе автоматический контроль целостности и величины сопротивления утечки соединительной линии, или же подключение в конце пожарного шлейфа оконечного устройства.

Средний уровень включает в себя программируемый логический контроллер (ПЛК) и должен обеспечивать сбор и обработку информации от датчиков нижнего уровня (контрольно-измерительные приборы, пожарные оповещатели и т.д.), передачу информации о состоянии параметров системы

пожаротушения на АРМ оператора, а также выдавать управляющие сигналы для запуска систем пожаротушения.

ПЛК должен иметь сертификат соответствия требованиям пожарной безопасности.

На верхнем уровне находится АРМ оператора АСПТ и программное обеспечение (ПО), которое обеспечивает:

- прием информации о состоянии средств обнаружения и тушения пожаров;
- получение графиков измеряемых технологических параметров (температуры на складе, давления, расхода и т.д.);
- архивирование данных, составление журнала событий технологического процесса.

Также на АРМ должна отображаться полная технологическая схема системы тушения пожаров и отображение всех технологических параметров.

Передача данных со среднего уровня на верхний осуществляется с помощью сетей Ethernet/Modbus TCP/IP.

Подключение извещателей пламени к ПЛК производится через шлейфы сигнализации. Для предотвращения ложного срабатывания АСПТ, тушение пожара на складе лесоматериалов осуществляется только при поступлении сигналов о возникновении пожара не менее чем с двух пожарных извещателей.

2.2.1 Основные требования к АСПТ

Целью внедрения АСПТ на складах лесоматериалов является тушение и локализация очагов возгорания и сохранение движимого и недвижимого имущества, а также обеспечение безопасности производственного персонала. Автоматизированные системы пожаротушения, в отличие от ручных средств подавления пожара, позволяют оперативно определить очаги возгорания и осуществить тушение пожара с минимальным ущербом.

Разрабатываемая система должна быть гибкой и иметь возможность расширения средств системы с сохранением ее структуры. Средний уровень системы должен быть реализован на базе программируемого логического

контроллера (ПЛК). В щите управления должно быть предусмотрено гальваническое разделение между каналами передачи данных, внутренними шинами контроллера и внешними цепями ввода-вывода [33]. Необходимо, чтобы сигналы системы поступали на приборы управления, имеющие сертификаты соответствия и в диспетчерскую, обеспеченную круглосуточной работой дежурного персонала [33, 34]. Система должна быть оснащена устройствами, обеспечивающими ручной пуск системы. Система пожаротушения должна быть оснащена пожарной сигнализацией, которая в случае возгорания должна выдавать световой и звуковой сигналы, поступающие на контрольные приборы диспетчеру. Тушение пожара должно начинаться при появлении сигнала о возгорании не менее, чем с двух пожарных извещателей, соединенных в пожарный шлейф. В качестве огнетушащего вещества применять тонкораспыленную воду (ТРВ). При необходимости предусмотреть тушение пожара подготавливаемым огнетушащим составом: водой с жидкими добавками (пенообразователи) или водой с твердыми включениями (бентонит/бишофит). Время заполнения тушащей жидкостью защищаемого объема помещения при локальном тушении не должно превышать 180 с. Минимальная интенсивность орошения должна составлять $0,04 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$. Время работы установки пожаротушения не должно превышать 20 минут. Предусмотреть контроль уровня в баке с противопожарной водой (минимальный, максимальный, аварийный) при помощи датчика уровня. При достижении уровнем минимального значения обеспечить заполнение бака тушащей жидкостью.

Для предотвращения налипания сыпучих добавок на стенки трубопровода предусмотреть установку на трубопровод сыпучих материалов специализированного вибрационного устройства. Для предотвращения закупоривания форсуночных устройств твердыми включениями, а также для распыления жидкости повышенной вязкости, предусмотреть две группы распылителей (форсунок) различной дисперсности. Предусмотреть дистанционный пуск насосов, а также наличие резервного насоса, включаемого при отказе основного [34, 35]. Звуковые оповещатели разместить на стенах или на жестких, устойчивых конструкциях (стойках, опорах) на высоте не менее

2,3 м. от уровня пола и не менее 0,15 м. от потолка помещения [34, 35]. Предусмотреть наличие ручных пожарных извещателей, которые при ручном нажатии на кнопку оповещают о пожаре. Электропитание приборов выполнить от свободной группы щита электропитания кабелем с медной жилой, сечением $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$. Заземление приборов выполнить третьей жилой питающего кабеля, сечением $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$. Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током выполняется заземление используемого оборудования. Для этого все металлические составные части электрооборудования, не находящиеся нормально под напряжением, должны заземляться металлическим соединением к ближайшей шине заземления.

Трубопроводы системы водяного пожаротушения выполнить из стальных водо-газопроводных труб [35]. Надежность должна обеспечиваться за счет применения технических средств, системного и базового программного обеспечения, соответствующих поставленной цели, а именно: все извещатели должны выполняться во взрывозащищенном исполнении; все технические средства системы пожаротушения тонкораспыленной водой должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.037, ГОСТ 12.4.009, ГОСТ Р 53288 [35]. Аппаратно-программный комплекс системы должен восстанавливаться в случаях сбоев.

АРМ должен отвечать следующим требованиям:

- минимальное время ответа на запросы пользователя;
- надежность и простота обслуживания;
- возможность быстрого обучения пользователя;
- возможность работы в составе вычислительной сети;
- возможность работы в диалоговом режиме;
- выполнение основных требований эргономики: комфортные условия работы, удобство эксплуатации АРМ, учет психологических факторов человека-оператора, не отвлекающие форма и цвет элементов АРМ.

Общий вид структурной схемы АСПТ представлен на рисунке 2.2.1.1.

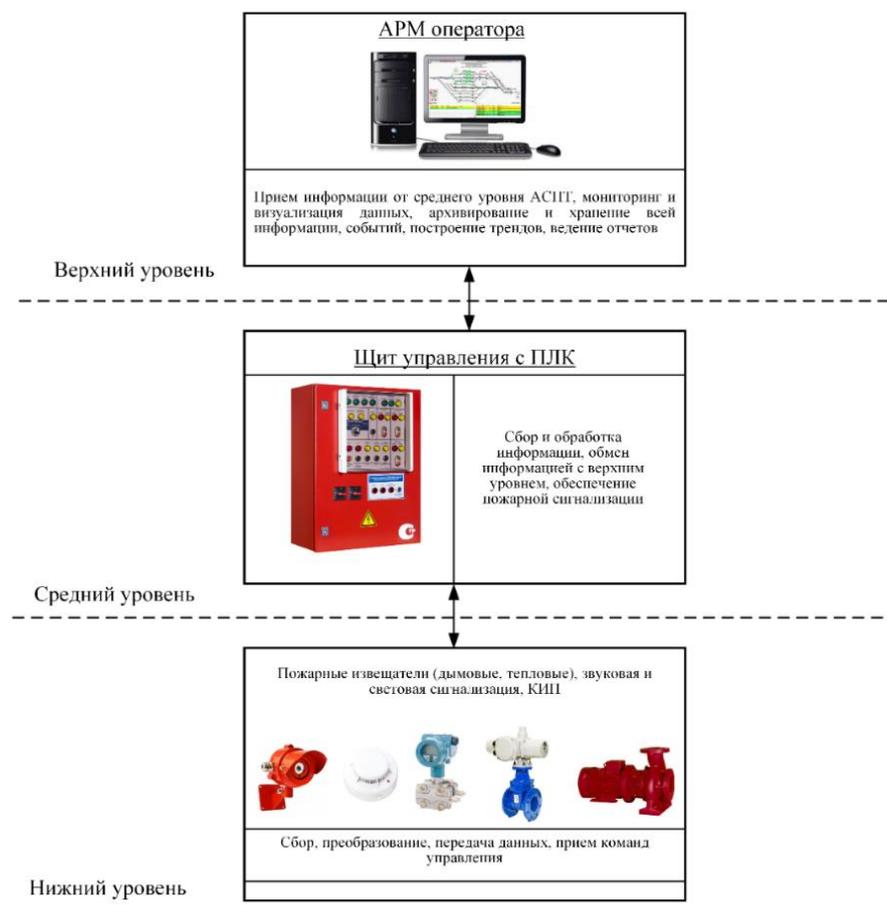


Рисунок 2.2.1.1 – Структурная схема АСПТ

Передаваемые по каналам связи сообщения от датчиков с нижнего уровня несут информацию о положении запорной арматуры, текстовый материал, величины контролируемых параметров, сигналы о возникновении пожара и т.д. Аналоговая информация от датчиков приводится к нормированному значению постоянного тока 4...20 мА вторичными преобразователями. Также осуществляется передача информации по интерфейсу RS-485. Максимальная длина линии связи RS-485 не более 3000 м. Передача дискретной информации осуществляется по проводам (многожильный кабель). Передача данных со среднего уровня на верхний осуществляется с помощью сетей Ethernet/Modbus TCP/IP.

Структурная схема разрабатываемой АСПТ приведена листе с шифром ФЮРА.421000.006 С1.

Значение расхода с датчика расхода ДРЗ поступает в контроллер, где сравнивается с заданным значением. Данные о значении уровня в баке с датчика уровня УР2 передаются в ПЛК, а после чего на АРМ оператора. При достижении

уровнем критического значения (ниже установленного), а также при отклонении расхода от заданного значения, контроллер выдает управляющее воздействие на блок ручного управления БРУ(РО1), происходит переключение с автоматического режима управления на ручной и обратно. Далее в пусковом устройстве ПУ(РО1) сигнал усиливается по мощности. Пусковое устройство осуществляет пуск исполнительного механизма ИМ(РО1), в котором электрический сигнал преобразуется в механическое перемещение регулирующего органа РО1. Регулирующий орган открывает или прикрывает регулирующий клапан до тех пор, пока регулируемая величина не будет равна заданному значению. После открытия задвижки контроллер выдает сигнал на включение насоса Н1. Закрытие задвижки и отключение насоса Н1 происходит после достижения уровнем оптимального (установленного) значения.

При превышении значений температуры с датчиков температуры ДТ и извещателей пламени заданного значения, на ПЛК формируется сигнал на открытие задвижки РО5 и включение основного насоса Н2. При отказе основного насоса (о чем можно судить по значению давления, поступающего с датчика давления ДД), происходит открытие задвижки и включение резервного насоса Н3.

При обширном распространении пламени и возникновении огня на большой территории, предусмотрено тушение огня специализированными тушащими составами: раствором воды с пенообразователем или воды с твердыми включениями. Для этого предусмотрен слив части воды из основного бака в бак с водой (при помощи задвижки РО4) и добавления в бак с водой пенообразователя или сыпучей добавки (для этого открываются задвижки РО2 или РО3 соответственно). Значения расхода с датчиков расхода ДР1 и ДР2 поступают в ПЛК. Расход специализированных добавок регулируется за счет дросселирования потока вещества через регулирующие органы РО2 и РО3. Датчик уровня УР1 служит для измерения уровня в баке с жидкими добавками.

Датчик вязкости служит для измерения вязкости тушащей жидкости. При тушении водой открывается задвижка РО5 и осуществляется подача жидкости к форсункам, предназначенным для распыления воды. При превышении вязкости

определенного значения происходит открытие задвижки РО7, и осуществляется подача тушащего состава через специализированные форсунки, предназначенные для вязких сред.

На выходе с помощью датчика расхода ДР4 и ДР5 контролируется расход тушащей смеси, направляемой к форсуночным устройствам.

На структурной схеме обозначены также средний уровень, реализованный на базе микропроцессорной техники (ПЛК) и верхний уровень (АРМ оператора).

2.3 Разработка функциональной схемы системы управления

Функциональная схема системы автоматизации технологических процессов – это основной технический документ, который определяет структуру и уровень автоматизации технологического процесса, а также отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения их приборами и средствами автоматизации.

Технологическое оборудование на такой схеме изображается в соответствии с ГОСТ 21.403-80 в виде упрощенных контуров, с помощью которых можно показать взаимодействие частей технологической цепи, ее принцип действия, а также взаимодействие с датчиками и другими ТСА.

Функциональная схема по сравнению со структурной более подробно раскрывает функции отдельных элементов и устройств. На такой схеме при помощи условных изображений показывают технологическое оборудование, коммуникации, органы управления, приборы и средства автоматизации, средства вычислительной техники и другие агрегатные комплексы с указанием связей между приборами и пояснением принципа их действия, таблицы условных обозначений и пояснения к схеме. Техническим средствам автоматизации присвоены позиционные обозначения, содержащие цифру и строчную букву.

В процессе разработки функциональной схемы на первом этапе по разработанной структурной схеме определены точки отбора измерительной информации – температуры воздуха, давления в пожарном трубопроводе за

питающим, основным и резервным насосами, расхода, уровня, вязкости, уровня теплового излучения и задымления.

Функциональная схема АСПТ склада лесоматериалов представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С2.

Измерение уровня жидкости в резервуаре с тушащим составом производится по каналу 10 с помощью уровнемера 10а. Сигнал о значении уровня с уровнемера поступает на аналоговый вход контроллера ПЛК. При увеличении уровня выше допустимого значения или уменьшении уровня ниже необходимого, осуществляется сигнализация. При достижении уровнем предельного нижнего значения в ПЛК формируется управляющий сигнал, который приводит в действие электрический привод исполнительного механизма. Происходит открытие задвижки РО1, после полного открытия которой от ПЛК поступает сигнал на включение питающего насоса Н1. Управление электродвигателем насоса осуществляется через пускатель 28б. Также осуществляется сигнализации рабочего состояния двигателя. Сигнал о значении температуры на складе поступает по каналам 1, 2. Каналы 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 служат для предоставления информации о положении вала исполнительного механизма.

На складе ЛГМ предусмотрена установка комбинированных извещателей пламени (35а, 36а, 37а), включающих в себя функции теплового и дымового извещателей. Подключение извещателей к ПЛК производится через шлейфы сигнализации. Для устранения ложного срабатывания системы пожаротушения, начало процесса тушения возгорания в помещении осуществляется только при поступлении сигналов о возникновении пожара не менее чем с двух пожарных извещателей пламени в одном шлейфе.

При срабатывании извещателей пламени, происходит срабатывание автоматической пожарной сигнализации (НА1). Для информирования персонала о возникновении пожара в системе АСПТ используются световая и звуковая сигнализация. Звуковая сигнализация, как правило, двухтональная: первый тон включается в качестве предупредительного сигнала, второй несет основную информацию и предупреждает персонал. Световая сигнализация выполняется в

виде ламп разного цвета или световых табло, на которых показывается причина появления сигнала.

Для ручного включения сигнала о возникновении пожара используется пожарный ручной извещатель (канал 38), сигнал от которого поступает на дискретный вход ПЛК. Извещатели располагаются на различном расстоянии друг от друга по всей площади склада и передают сигнал о возникновении пожара в ПЛК. При срабатывании пожарного извещателя, расположенного непосредственно над защищаемым объектом, в качестве тушащего состава используется вода – на ПЛК формируется управляющий сигнал на открытие задвижки РО5 и включение основного насоса Н2 (32в). Управление электродвигателем М насоса осуществляется через магнитный пускатель 32б.

При отказе основного насоса, о чем можно судить по значению давления, поступающему по каналу 4 с датчика давления 4а, происходит включение резервного насоса Н3 (30в). По каналу 3 на аналоговый вход ПЛК поступает информация о значении избыточного давления за резервным насосом. Каналы 29, 31, 33 предназначены для сигнализации рабочего состояния насосов (включен/отключен).

При срабатывании пожарных извещателей, расположенных на отдаленном расстоянии от защищаемого объекта (то есть при обширном распространении пожара и, соответственно, малой эффективности использования воды в качестве основного средства тушения), для увеличения скорости локализации пожара предусмотрено тушение специализированными добавками. Для этого осуществляется слив части воды из основного резервуара в резервуар с водой за счет открытия задвижки РО4 и добавления специализированных добавок (жидких или сыпучих). Измерительный канал 11 преобразует значения уровня, которые поступают к регулируемому устройству в виде унифицированного токового сигнала 4...20 мА с уровнемера 11а. Значение уровня в баке с жидкими добавками поступает в контроллер по каналу 12.

Регулирование расхода специализированных добавок осуществляется методом дросселирования потока вещества через регулирующие органы РО2 и РО3. По каналам 7 и 5 поступает информация о значениях расхода сыпучих и

жидких добавок соответственно. Для предотвращения налипания сыпучих добавок на трубопровод предусмотрена установка на соответствующем трубопроводе вибрационного устройства. Ротор вибрационного устройства на схеме автоматизации обозначен маркировкой «М». Управление двигателем вибрационного устройства осуществляется по каналу 34 посредством пускателя 34Б.

По каналу 13 передается информация о значении вязкости тушащего состава. При тушении вязкой жидкостью (эмульсией или суспензией) в ПЛК формируется управляющий сигнал, который приводит в действие электрический привод исполнительного механизма, открывающего РО7 и подача тушащей жидкости осуществляется через форсунки высокой дисперсности. По каналам 8 и 9 осуществляется передача информации о значении расхода тушащего состава, направляемого к форсуночным устройствам низкой и высокой дисперсности соответственно.

Схема построена на базе программируемого логического контроллера, укомплектованного соответствующим набором модулей ввода/вывода. Контроллер связан с АРМ через сеть Ethernet. АРМ предназначен для вывода на экран значений технологических переменных, их регистрации и сигнализации их предельных значений. Также АРМ формирует законы управления исполнительными механизмами, электродвигателями насосов и вибрационного устройства. В нижней части функциональной схемы изображены 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 и функциональные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.208-2013.

2.4 Выбор технических средств автоматизации

При выборе ТСА для АСПТ предпочтение отдавалось серийно выпускаемым техническим средствам автоматизации. При этом учитывались

такие параметры как взаимозаменяемость, наличие унифицированных сигналов и легкость в эксплуатации и монтаже. Для создания АСПТ необходим выбор следующих технических средств: уровнемеров для контроля уровня в баках с водой, огнетушащим составом и жидкими добавками, расходомеров для контроля расхода огнетушащего состава, направляемого к форсуночным устройствам, воды, сыпучих и жидких добавок, насосов для подачи тушащего состава, извещателей пламени для оповещения о возникновении пожара, датчика температуры для контроля температуры на складе, вискозиметра для определения вязкости тушащего состава, датчиков давления для измерения избыточного давления в пожарном трубопроводе, вибрационного устройства для предотвращения налипания сыпучих добавок на стенки трубопровода и бака с тушащим составом, а также программируемый логический контроллер.

2.4.1 Выбор датчика уровня

В разрабатываемой автоматизированной системе для измерения уровня в баках с тушащей жидкостью, жидкими добавками и водой необходимо выбрать уровнемер. Рассмотрим уровнемеры ОМУВ 05-1, ПМП-128 и ЛМК 331. Уровнемеры ОМУВ 05-1, ПМП-128 являются поплавковыми [36, 37]. Принцип действия таких уровнемеров основан на измерении положения поплавка, который частично погружается в жидкость и перемещается вместе с уровнем жидкости. Уровнемер ЛМК 331 оптимизирован для работы с агрессивными, вязкими средами [38]. В таблице 2.4.1.1 представлены технические характеристики уровнемеров.

Таблица 2.4.1.1 – Технические характеристики уровнемеров

Наименование уровнемеров	Сигнализатор уровня ОМУВ 05-1	Уровнемер ЛМК 331	Поплавковый уровнемер ПМП-128
Диапазон температуры среды, °С	-40...+70	- 25...+135	-50...+60
Максимальное избыточное давление, МПа	2,5	6	2,5
Диапазон измерения, м	0,1...15	0,5...25	0,75...25
Выходной сигнал	4...20 мА, HART-протокол	4...20 мА	4...20 мА, HART-протокол
Напряжение питания, В	24	12-36	12
Степень защиты от пыли и влаги	IP67	IP 65-68	IP68
Стоимость, руб.	41000	25150	21050

Необходимо отметить, что в системах пожаротушения для наиболее важных параметров (расхода и уровня) предпочтительнее использование датчиков с HART-протоколом, который позволяет своевременно получать предупреждения об изменениях показателей процесса, а также сократить время поиска и устранения неисправностей. Кроме того, для датчиков с HART-протоколом характерно увеличение частоты получения значений измеряемой величины.

В целом характеристики рассматриваемых уровнемеров (табл. 2.4.4.1) сопоставимы, уровнемеры LMK 331 и ПМП-128 пригодны для использования в агрессивных средах. Оба уровнемера удовлетворяют требованиям автоматизированной системы по диапазонам температур и диапазонам измерения уровня. Для контроля уровня в баках выбираем уровнемер ПМП-128, который имеет меньшую погрешность, меньшую стоимость, а также унифицированный выходной сигнал 4...20 мА и HART-протокол.

2.4.2 Выбор датчика давления

В разрабатываемой системе предусмотрено использование датчиков давления, измеряющих избыточное давление на выходе основного и резервного насосов в пожарном трубопроводе. Рассмотрим датчики давления, производимых компаниями «Метран» и «Овен». Технические характеристики датчиков приведены в таблице 2.4.2.1 [39–41].

Таблица 2.4.2.1 – Технические характеристики датчиков давления

Наименование датчиков давления	Датчик избыточного давления Метран-150 АС TG	Датчик избыточного давления ПД200-ДИ	Датчик избыточного давления ОВЕН ПД- 100
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	До 6,0	До 40
Защита от пыли и влаги	IP66	IP65	IP65
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Стоимость, руб.	32000	36000	34800

Выбираем датчик давления Метран-150 АС ТG, так как его характеристики подходят требованиям разрабатываемой системы АСПТ (диапазон измерения давления). Кроме того, датчик давления Метран-150 АС ТG имеет больший диапазон температур рабочей среды по сравнению с ПД200-ДИ и ОВЕН ПД- 100, а также меньшую стоимость.

2.4.3 Выбор датчика расхода

В разрабатываемой АСПТ необходимо контролировать расход тушащей жидкости, направляемой к форсуночным устройствам, а также измерять расход твердых включений (бишофит) и пенообразователя, для создания тушащего состава. Для этого необходимо выбрать датчики для измерения расхода воды, жидких добавок и сыпучих веществ. При выборе необходимо учитывать вязкость и агрегатное состояние измеряемых сред.

Проведем выбор расходомеров для измерения расхода воды (табл. 2.4.3.1). Расходомер от компании «Emerson» Метран-150RFA предназначен для измерения объемного расхода среды (вода, пар, газ) методом перепада давления с использованием в качестве первичного измерительного преобразователя осредняющей напорной трубки [42]. Расходомер Blancett FloClean является турбинным. Принцип действия таких расходомеров основан на измерении расхода посредством отсчета количества оборотов рабочего колеса турбины за некоторый определенный отрезок времени [43]. Расходомер SONO 3100/FUS060 является ультразвуковым [44].

Таблица 2.4.3.1– Технические характеристики расходомеров

Наименование расходомеров	Расходомер Метран-150RFA	Турбинный расходомер Blancett FloClean	Ультразвуковой расходомер SONO 3100/FUS060
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40...+65	-50...+65	–
Диапазон температур рабочей среды, °С	-40...315	-100 ... + 149	-20...+100
Диапазон измерения, л/с	0,1...20	0,1...25	0,13...25
Выходной сигнал	4...20 мА, HART-протокол, RS-232	4...20 мА, HART-протокол	4...20 мА, HART-протокол
Стоимость, руб.	24310	22100	33190

Выбираем турбинный расходомер Blancett FloClean от компании «РусАвтоматизация», так как данный датчик имеет унифицированный выходной сигнал, диапазон измерения расхода данного прибора подходит требованиям разрабатываемой системы. Кроме того, погрешность измерения у Blancett FloClean по сравнению с Метран-150RFA и SONO 3100/FUS060 минимальная.

2.4.4 Выбор датчика расхода для вязких сред

Основным критерием при выборе расходомера для измерения расхода тушащего состава с добавлением пенообразователя является возможность измерения расхода вязких сред.

Рассмотрим несколько расходомеров (табл. 2.4.4.1), предназначенных для измерения в таких условиях. Ультразвуковой расходомер УРСВ–110 применяется для измерения объёмного расхода нефти, нефтепродуктов и других вязких жидкостей [45]. Расходомер US800 от компании «Эй-Си Электроникс» также является ультразвуковым и предназначен для работы в условиях повышенной вязкости среды [46]. Расходомер QS200-30 имеет корпус из нержавеющей стали и применяется для измерения расхода жидкостей на углеводородной основе (топливо, масло, смазки) [47].

Таблица 2.4.4.1– Технические характеристики расходомеров для вязких сред

Наименование расходомеров	Ультразвуковой расходомер УРСВ–110	Ультразвуковой расходомер US800	Ультразвуковой расходомер QS200-30
Диапазон температур рабочей среды, °С	–30...+160	–40...+180	0...60
Диапазон измерения, л/с	0,1...12	0,1...40	0,13...19,48
Выходной сигнал	4...20 мА RS-232/RS-485	4...20 мА, HART- протокол	4...20 мА
Стоимость, руб.	39500	37400	38000

Выбираем расходомер US–800 фирмы «Эй–Си Электроникс», который предназначен для измерения расхода вязких жидкостей на предприятиях теплоэнергетической и химической отраслей. Данный прибор имеет наименьшую погрешность, унифицированный выходной сигнал и диапазон измерений, удовлетворяющий разрабатываемой системе.

2.4.5 Выбор датчика расхода для сыпучих материалов

Расходомеры сыпучих материалов измеряют массовый расход твёрдых материалов в трубопроводах. На сегодняшний день на рынке имеется достаточно большое количество различных видов таких расходомеров, отличающихся составом и размером частиц измеряемой среды. В таблице 2.4.5.1 представлены сравнительные характеристики расходомеров сыпучих материалов MF 3000, DensFlow и SolidFlow [48–50].

Таблица 2.4.5.1 – Технические характеристики расходомеров для сыпучих материалов

Наименование расходомеров	Расходомер сыпучих материалов MF 3000	Массовый расходомер DensFlow	Расходомер сыпучих материалов SolidFlow
Диапазон температур рабочей среды, °С	-30...60	-20...60	-20...80
Диапазон измерения, т/ч	0,001...10	0,001...10	0...20
Выходной сигнал	4...20 мА RS-232 и RS-485	4...20 мА, HART RS-485, RS-232	4...20 мА
Стоимость, руб.	45100	42000	41340

Анализируя технические характеристики рассмотренных расходомеров выбираем расходомер DensFlow. Данный прибор имеет наименьшую погрешность измерения расхода, наиболее близкий к необходимому диапазон измерения, а также унифицированный выходной сигнал. DensFlow применяется для измерения расхода сыпучих материалов, порошков, гранулянтов и материалов с повышенной плотностью.

Принцип действия такого расходомера заключается в следующем: твердые частицы поглощают излучение переменного поля и превращают его в тепло, при этом чем больше расход вещества, тем больше энергии поглощается. Это в свою очередь приводит к возникновению сигнала, который пропорционален концентрации сыпучего материала, перемещающегося по трубопроводу.

2.4.6 Выбор вибрационного устройства

В связи с тем, что в автоматизированной системе необходима транспортировка сыпучих материалов для подготовки тушащего состава, необходимо использование специализированного вибрационного устройства. Такие устройства предотвращают сваливание и слипаемость материала, обеспечивают нормальное движение сыпучего материала без его налипания на стенки трубопровода. Вибраторы крепятся снаружи или внутри трубопроводов, баков, питателей, рам и т.д.

Рассмотрим вибрационные устройства марки OLI MVE 300/3 и ИВ-06-25. Вибраторы OLI MVE 300/3 снабжены подшипниками SKF, валы изготовлены из стального сплава и имеют высокое сопротивление к нагрузкам, что гарантирует надежность работы вибратора [51].

Энергия единичного удара ИВ-06-25 может варьироваться от 3,1 до 6,2 кН. Прибор незаменим в тех местах, где необходима средняя и большая сила вибрации [52]. Технические характеристики вибрационных устройств приведены в таблице 2.4.6.1.

Таблица 2.4.6.1 – Технические характеристики вибрационных устройств

Наименование вибрационных устройств	Вибратор площадочный OLI MVE 300/3	Вибратор площадочный ИВ-06-25
Вынуждающая сила, кг	321	310...620
Скорость вращения, об/с	50	25
Напряжение, В	380	380
Мощность номинальная, кВт	0,27	0,37
Номинальный ток, А	0,52	1,4
Тип электродвигателя	Асинхронный с короткозамкнутым ротором	Асинхронный с короткозамкнутым ротором
Степень защиты	IP65	IP66
Стоимость, руб.	11500	7550

При выборе необходимо, учитывать, что вынуждающая сила должна быть в 3-4 раза больше, чем масса объекта установки. В связи с этим для разрабатываемой автоматизированной системы выбираем вибратор фирмы «Красный Маяк» ИВ-06-25, так как диапазон вынуждающей силы у данного вибрационного устройства больше, а также с экономической точки зрения.

Для управления процессом вибрационного воздействия путем регулирования скоростью вращения двигателей вибраторов необходимо использование частотного преобразователя.

Выбираем частотный преобразователь фирмы «ОВЕН» ПЧВ1 в модификации ПЧВ 101-К37-В. Основное назначение частотного преобразователя «ОВЕН» ПЧВ1 – управление стандартными асинхронными двигателями [53]. Технические характеристики преобразователя приведены в таблице 2.4.6.2.

Таблица 2.4.6.2 – Технические характеристики частотного преобразователя

Наименование преобразователя	ПЧВ 101-К37-В
Напряжение, В	380
Мощность, кВт	0,37
Интерфейс связи	RS-485
Протокол связи	Modbus RTU
Степень защиты	IP20
Стоимость, руб	9720

2.4.7 Выбор датчика вязкости

В разрабатываемой системе пожаротушения в зависимости от площади пожара и вида ЛГМ возможно тушение двумя вариантами тушащих составов: водой или эмульсией и суспензией на основе воды. Данные жидкости имеют разную вязкость и состав. В связи с этим в разрабатываемой АСПТ с экономической точки зрения в зависимости от вязкости тушащего состава предусмотрено использование двух видов форсуночных устройств – форсунок для воды и форсунок для вязких жидкостей или жидкостей, содержащих примеси. Для оценки вязкости тушащей жидкости необходим выбор вискозиметра.

Рассмотрим технические характеристики вискозиметров FVM Micro Motion, ViSmart VS-25xx и ВВН-8. Данные вискозиметры пригодны для эксплуатации в агрессивных средах в сложных промышленных системах и технологиях [54–56]. Рассмотрим характеристики данных приборов наиболее подробно (таблица 2.4.7.1).

Таблица 2.4.7.1 – Технические характеристики вискозиметров

Наименование вискозиметров	Вилочный вискозиметр FVM Micro Motion	Датчик вязкости ViSmart VS-25xx	Вискозиметр вибрационный ВВН-8
Диапазон температур рабочей среды, °С	-40...150	0...60	10...35
Диапазон измерения, Па·с	0,0005...20	0,0001...10	0...20
Выходной сигнал	4...20 мА, HART, Modbus RS-485;	4...20 мА, RS-232	4...20 мА
Класс защиты	IP 66/67	–	–
Стоимость, руб.	31260	32350	42100

Выбираем вискозиметр FVM Micro Motion, так как данный прибор имеет встроенный преобразователь, в отличие от ВВН-8 и ViSmart VS-25xx. Встроенный преобразователь упрощает монтаж и уменьшает погрешность измерений. Кроме того выбор FVM Micro Motion обусловлен меньшей стоимостью прибора по сравнению с аналогами.

2.4.8 Выбор датчика температуры

Для измерения температуры воздуха на складе применяется термометр сопротивления. Определение температуры в таких приборах осуществляется по известной зависимости между сопротивлением термопреобразователя и температурой.

Рассмотрим термопреобразователи типа ТСП-012, ТСПУ 014.11 и Метран-2000-100П/Pt100/50М-Н10-У1. Датчики имеют выходной аналоговый сигнал 4...20 мА. В таблице 2.4.8.1 представлены технические характеристики рассматриваемых ТПС [57–59].

Таблица 2.4.8.1 – Технические характеристики ТПС

Наименование ТПС	Термопреобразователь сопротивления ТСП-012	Термопреобразователь сопротивления Метран-2000-100П/Pt100/50М-Н10-У1	Термопреобразователь сопротивления ТСПУ(ТСПУ)014
Диапазон измеряемых температур, °С	-50...+500	-55...+85	-50...+550
Защищенность от влаги и пыли	IP65	IP65	IP65
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА

Продолжение таблицы 2.4.8.1

Наименование	Термопреобразователь сопротивления ТСП-012	Термопреобразователь сопротивления Метран-2000-100П/Pt100/50М-Н10-У1	Термопреобразователь сопротивления ТСМУ(ТСПУ)014
Схема подключения	2-х, 3-х, 4-х проводная	2-х, 3-х, 4-х проводная	2-х проводная
Зависимость выходного токового сигнала от измеряемой температуры	линейная	линейная	линейная

Выбираем термопреобразователь сопротивления ТСМУ(ТСПУ)014, предназначенный для измерения температуры неагрессивных сред.

Технические характеристики данного прибора удовлетворяют требованиям системы по диапазону измеряемых температур, погрешности измерения и степени защиты от пыли и влаги (IP 65), что позволяет применять данный прибор в пожароопасных помещениях. Кроме того, датчик имеет унифицированный выходной сигнал.

2.4.9 Выбор извещателей пламени

Извещатели пламени в автоматизированных системах пожаротушения применяются для своевременного обнаружения возгораний.

Такие извещатели, как правило, выполняются во взрывозащищенном исполнении и бывают различных типов: тепловые дымовые, комбинированные (реагируют на несколько факторов пожара) и ручные, необходимые для ручного оповещения о пожаре. В защищаемом помещении устанавливается не менее двух таких извещателей (для предотвращения ложного срабатывания), соединенных в один шлейф сигнализации.

Проведём выбор извещателей пламени для разрабатываемой АСПТ. В таблице 2.4.9.1 представлены технические характеристики теплового, дымового и комбинированного извещателей [60–62].

Таблица 2.4.9.1 – Технические характеристики пожарных извещателей

Наименование пожарных извещателей	Извещатель пламени пожарный ИПЭС - ИК/УФ	Извещатель пламени пожарный Спектрон-601-EXD	Извещатель пожарный дымовой ИПДЭС
Диапазон температур окружающей среды, °С	-60...+85	-70...+75	-40 ...+50
Дальность обнаружения пламени, м	25	50	25
Угол обзора, град	90	90	360
Время срабатывания (не более), с	5	6	6
Выходной сигнал	аналоговый: 4...20 мА, цифровой: в стандарте RS-485 с интерфейсом Modbus RTU, дискретный: срабатывание реле «Пожар» и «Неисправность»	RS-485 с поддержкой протокола Modbus/RTU 4...20 мА с поддержкой протокола	аналоговый выходной сигнал 4...20 мА цифровой интерфейс RS-485 с протоколом ModBus RTU
Защита от пыли и влаги	IP66	IP68	IP41
Маркировка взрывозащиты	1ExdIICT4	Exd	1 Ex ib IIC T6
Стоимость, руб.	35600	37700	5000

Для каждого отдельного признака пожара (задымление, повышение температуры) предназначен свой тип извещателя. Однако склады лесных материалов относятся к объектам, на которых может происходить как тление, сопровождающееся дымом, так и горение с открытым огнем. Спрогнозировать, какой тип извещателя будет наиболее пригоден, не предоставляется возможным. В связи с этим на таких объектах предпочтительнее установка комбинированных извещателей, которые реагируют как на дым, так и на тепловые изменения в помещении. Для разрабатываемой АСПТ выбираем комбинированный пожарный извещатель ИПЭС. Такой датчик располагается на объектах добычи газа и нефти, на открытых и закрытых складах, площадках, платформах, рудниках. У датчика имеется функция самотестирования, мгновенное срабатывание. Основной особенностью ИПЭС является внутренний тестовый источник излучения, позволяющий проводить стабильную сквозную проверку

работоспособности датчика без использования внешних источников открытого пламени.

При использовании функции самоконтроля и выполнении условий свода правил СП5-13131.2009 вместо двух извещателей в одном защищаемом помещении есть возможность применения только одного пожарного извещателя [60].

2.4.10 Выбор ручного пожарного извещателя

Для ручного оповещения персонала о возникновении пожара в разрабатываемой системе пожаротушения необходим выбор ручного пожарного извещателя.

В таблице 2.4.10.1 приведены характеристики ручных пожарных извещателей [63, 64].

Таблица 2.4.10.1 – Технические характеристики ручных пожарных извещателей

Наименование пожарных извещателей	ИПР 513-2 «Агат»	Спектрон-535 Exd-M-K0
Диапазон температур окружающей среды, °С	-30...+50	-60 ... +85
Электрические параметры цепей, коммутируемых контактами извещателя	9...30 В, ток до 65 мА	9...28 В
Ток, потребляемый извещателем в дежурном режиме с индикацией исправности ШС не более, мА	0,1	0,05
Защита от пыли и влаги	IP41	IP67
Маркировка взрывозащиты	–	1ExdIICT6
Стоимость, руб	4200	4750

Выбираем ручной пожарный извещатель Спектрон-535 Exd-M-K0, так как он предназначен для использования на промышленных объектах, имеет необходимую степень защиты, что позволяет его использовать на взрывоопасных площадках. Извещатель ИПР 513-2 «Агат» имеет офисное исполнение.

2.4.11 Выбор насосного оборудования

В разрабатываемой автоматизированной системе необходимо использование насосного оборудования, которое включает в себя питающий насос, подающий воду от магистрального трубопровода, а также основной и резервный насосы для подачи тушащего состава к распылительным форсункам. Вязкость тушащего состава может быть повышенной и иметь твердые включения, поэтому при выборе насосного оборудования необходимо учитывать эту специфику. Рассмотрим насосы, пригодные для перекачки вязких жидкостей и жидкостей с твердыми включениями. Перистальтический насос Abaque обладает хорошим эффектом самовсасывания и способен перекачивать твердые включения [65]. По конструкции данные насосы моноблочные (вал электродвигателя находится непосредственно в насосной части) с одним рабочим колесом. Насос IR/IR4P/MG2 является моноблочным с фланцевым присоединением по стандарту UNI EN 1092-2. Электродвигатели у данных насосов – стандартные асинхронные [66]. Насос MegaCPK является центральным центробежным и пригоден для работы с агрессивными жидкостями и жидкостями, содержащими включения [67]. В таблице 2.4.11.1 представлено насосное оборудование, пригодное для работы с высоковязкими средами (топливо, нефть, масла).

Таблица 2.4.11.1 – Технические характеристики насосного оборудования

Наименование насосов	Перистальтический насос Abaque	Консольно-моноблочный насос IR/IR4P/MG2	Центробежный насос MegaCPK
Производительность, м ³ /час	77	54	<1160
Материал	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь, бронза	Нержавеющая сталь
Тип привода	Электродвигатель	Электродвигатель	Электродвигатель
Максимальное давление, МПа	2	10	2,5
Перекачка среды с абразивными частицами	Да	Да	Да
Цена, руб.	60960	64595	55600

Выбираем насос MegaCPK в связи с тем, что данная модель имеет оптимальное для разрабатываемой системы максимальное давление. Насос используется для перекачивания агрессивных жидкостей в нефтехимической промышленности, установках пожаротушения и для перекачивания рассолов, нефти, жидкостей с повышенной вязкостью, а также жидкости, содержащей абразивные частицы.

2.4.12 Выбор исполнительного механизма

Выбор исполнительного механизма производим исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента.

Максимальный крутящий момент принимался по диаметру трубопровода 338 мм и составил 213,2 Н·м.

При выборе учитывалось условие:

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

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

Для системы пожаротушения выберем механизм исполнительный электрический однооборотный рычажный типа МЭО-250/63-0,25У-99 в общепромышленном исполнении [68]. Характеристики исполнительного механизма приведены в таблице 2.4.12.1.

Таблица 2.4.12.1 – Технические характеристики исполнительного механизма

Наименование параметра	Значение
Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	250
Потребляемая мощность, Вт	240
Напряжение питания, В	220
Блок сигнализации положения	Токовый
Максимальная частота включения	До 1200 в час при повторном включении до 25 %
Масса, кг	32

Управление механизмом может проходить автоматически и в ручном режиме. Бесконтактное управление механизмом осуществляется посредством пускателя ПБР. На исполнительном механизме установлен блок сигнализации

положения выходного вала токовый (БСПТ-10М) с унифицированным токовым сигналом 4...20 мА.

2.4.13 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В качестве устройства ручного исполнения в разрабатываемой системе будем использовать блок ручного управления БРУ-42 [69]. Основной функцией БРУ является переключение с автоматического режима управления на ручной (и обратно), определение положения регулирующего органа. Стоимость составляет 4 385 рублей.

2.4.14 Выбор программируемого логического контроллера

В качестве регулирующего устройства используется программируемый логический контроллер. Для реализации системы АСПТ необходимо, чтобы он имел аналоговые входы для регистрации температуры, давления, расхода, вязкости, уровня, аналоговые выходы для управления исполнительными механизмами и приводами насосов, дискретные входы для пожарных извещателей и дискретный выход для ручного пожарного извещателя. Рассмотрим контроллеры фирм «ОВЕН», «Siemens», а также контроллер компании «ЭлеСи». Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК73, технические характеристики которого сведены в таблицу 2.4.14.1 применяется для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, транспорте, промышленности [70].

Таблица 2.4.14.1 – Технические характеристики ОВЕН ПЛК73

Наименование ПЛК	ОВЕН ПЛК73
Центральный процессор	32-разрядный RISC процессор
Напряжение питания, В	90...245 (частотой от 47 до 63 Гц)
Количество аналоговых входов	8
Количество дискретных входов	8
Поддерживаемые интерфейсы	RS-485, RS-232
Поддерживаемые протоколы	ОВЕН, ModBus RTU, ModBus ASCII

Данный контроллер имеет 8 аналоговых входов. Для увеличения количества входов необходимо 4 модуля расширения входов/выходов ОВЕН ПРМ-3 (4 аналоговых входа и выхода). Данные модули позволяют увеличить количество аналоговых входов и выходов. Подключение модулей к контроллеру осуществляется посредством интерфейса RS-485.

Для разрабатываемой АСПТ предпочтительнее использование модульного контроллера с возможностью подключения дополнительных датчиков (например, с возможностью увлечения извещателей пламени по площади склада). Рассмотрим контроллер фирмы «Siemens» SIMATIC S7-300. Это модульные программируемые контроллеры, предназначенные для решения задач автоматизации низкого и среднего уровня сложности. Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-300 имеют модульную конструкцию и состоят из следующих основных модулей: модуль центрального процессора (CPU), блок питания, сигнальные модули, коммуникационные, функциональные и интерфейсные модули [71]. Технические характеристики центрального процессора Siemens SIMATIC S7-300 представлены в таблице 2.4.14.2).

Таблица 2.4.14.2 – Технические характеристики CPU 312

Наименование	CPU 312
Рабочая память, Кб	32
Время выполнения: логических операций, операций с фиксированной точкой, операций с плавающей точкой	0,1 0,32 1,1
Количество каналов вводов – вывода, дискретных/аналоговых, не более	256/64
Языки программирования	STEP 7 (LAD, FBD, STL), S7-SCL, S7-GRAPH
Напряжение питания, В	24
Стоимость, руб	17340

Контроллер «ЭЛСИ-ТМК» производства компании «ЭлеСи» также является модульным и предназначен для работы в малых и средних системах автоматизации. При необходимости, для увеличения количества сигналов, контроллер позволяет подключать модули удаленного ввода-вывода. Основная область применения – малые и средние системы автоматического и

автоматизированного управления технологическими процессами (системы управления эскалаторами, системы управления компрессорными установками, инженерные системы здания и т.д.). Широкое распространение данный контроллер получил в системах пожаротушения.

В таблице 2.4.14.3 приведены технические характеристики контроллера ЭЛСИ-ТМК.

Таблица 2.4.14.3 – Технические характеристики контроллера ЭЛСИ-ТМК

Параметры	Характеристики
Процессор	
Тип процессора	(ARM Cortex-A8)
Токовая частота, МГц	300
Память	
Объём оперативной памяти RAM, Мб	256
Объём flash-памяти, Мб	256
Объём энергонезависимой памяти, Кб	128
Встроенные коммуникации	
Кол-во портов Ethernet, шт	1
Интерфейс RS-232, (количество каналов)	1
Интерфейс USB 2.0, (количество каналов)	1
Поддержка модулей ввода/вывода	
Количество поддерживаемых модулей ввода/вывода	10
Количество каналов	
ввода/вывода (дискретных)	до 640 (модули на 16, 32 и 64 канала)
ввода/вывода (аналоговых)	до 240 (модули на 2, 4, 16 и 24 канала)

Из анализа технических характеристик, а также с экономической точки зрения сделаем выбор в пользу контроллера ЭЛСИ-ТМК. Данный контроллер полностью удовлетворяет требованиям системы, а также имеет наименьшую стоимость. Для решения поставленных задач необходим выбор следующих дополнительных модулей: модули ввода/вывода дискретных сигналов, модули ввода/вывода аналоговых сигналов, процессорный модуль, модуль питания, а также интерфейсный модуль.

На основе выбора технических средств составлена заказная спецификация средств автоматизации, приведенная на листе с шифром ФЮРА.421000.006 СО1 (приложение Б).

2.5 Проектирование схемы внешних проводок

Схема внешних проводок необходима для выполнения монтажных работ. Эту документацию также используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ. Монтажные схемы показывают, каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных на конструкции и за пределами конструкций. При разработке схемы внешних проводок пользуются технической документацией заводов изготовителей средств автоматизации.

В ВКР разработана монтажная схема АСПТ склада лесных материалов.

В верхней левой части чертежа размещена таблица с поясняющими надписями, под которой расположены средства автоматизации, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании и трубопроводах.

Для упрощения чтения схемы и избегания повторного изображения одинаковых элементов (исполнительный механизм, пускатель и блок ручного управления) на схеме приведена таблица применимости, в соответствии с которой проведена маркировка кабелей.

Средства автоматизации с электрическими входами и выходами изображены монтажными символами. Внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним жил проводов или кабелей. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа вблизи клемм. Для линий питания (220 В, 380 В) выбран кабель с алюминиевыми жилами типа АВВГ [72], а для информационных линий и линий питания выбраны кабеля типа КВВГ [73] и МКЭШ [74]. Для промышленного интерфейса RS-485, по которому осуществляется подключение пожарных извещателей в шлейф сигнализации, выбран кабель одиночной прокладки типа КИПЭВ [75]. Данный кабель также используется для подключения частотного преобразователя ПЧВ1.

В щите автоматизации для соединения сборок зажимов с контроллером используем провод с медной жилой и изоляцией из поливинилхлоридного пластика марки ПВ-1. Порядковые номера проводкам на схеме присвоены слева направо и сверху вниз. Щит автоматизации изображен в виде

прямоугольника в нижнем углу. На свободном поле прямоугольника нанесено наименование щита. В прямоугольнике показаны блоки зажимов.

Для соединения и разветвления электрических кабелей на схеме показаны электрические соединительные коробки КСК-8№1, КСК-8№2, КСК-8№3, КСК-8№4, КСК-8№5, КСК-10, КСК-12. После соединительных коробок кабели подключаемых технических средств собираются в единый кабель, который затем подключается в щит автоматизации.

Электрические соединительные коробки также изображены в виде прямоугольника произвольного размера. Внутри изображена сборка зажимов с необходимой нумерацией зажимов. В местах ввода в коробку кабелей нанесены изображения сальников.

Монтажная схема приведена на листе с шифром ФЮРА.420000.006 С4.

2.6 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления

На схеме соединений изображаются все устройства и элементы, входящие в схему, а также соединения между ними. Устройства изображаются в виде прямоугольников, элементы – в виде условных графических изображений, установленных в ЕСКД. На схеме необходимо указывать обозначения выводов (контактов) элементов, нанесенные на изделие или установленные в документации изделия. Проводам, жгутам, кабелям на схеме присваиваются порядковые номера. Нумерация проводится в пределах изделия отдельно для кабелей и проводов. Допускается сквозная нумерация в пределах изделия. Для выполнения схемы используются развернутые изображения элементов технических средств. Линии связи представляют собой горизонтальные и вертикальные отрезки, имеющие минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не должно быть меньше 5 мм [76].

Буквенные обозначения для записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах – согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Прописные буквы, цифры латинского алфавита присваиваются элементам схемы согласно их

назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

В данном разделе разработана электрическая схема соединений щита, которая приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.006 ЭЗ. Для системы пожаротушения предусмотрен ввод основного и резервного источника питания 220 В. Микроклимат в щите реализуется за счет вентиляции и термореле КК1.

Питание устройств внутри щита осуществляется с помощью блока питания 24 В. В качестве источника резервного питания предусмотрено использование аккумуляторной батареи. Модули контроллера ЭЛСИ-ТМК изображены в соответствии с технической документацией на них [77]. Для ввода аналоговых сигналов в щите предусмотрена установка разделительных преобразователи ЕТ- 422 [78], обеспечивающих гальваническую развязку цепей контроллера и полевых цепей, сигнал с которых поступает на соответствующие блоки контроллера. Для ввода дискретных сигналов служат устройства защиты дискретных каналов ввода/вывода от помех БС-117/12 [79]. Для подключения пожарных извещателей в шлейф RS-485 и частотного преобразователя используется штекерный модуль для защиты от перенапряжений Z1...Z4 [80]. Также для подключения нескольких устройств по RS-485 в один интерфейсный модуль используется трех-портовый промышленный HUB RS-485.

Перечень элементов электрической схемы приведен на листах с шифром ФЮРА.421000.006 ПЭ.

2.7 Разработка сборочного чертежа и общего вида щита управления

Сборочный чертеж должен содержать изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы. На таком чертеже также должны быть указаны размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу.

Сборочный чертеж щита управления представлен на листах с шифром

ФЮРА.42100.006 СБ.

На чертеже общего вида щита управления системы пожаротушения показана конструкция изделия, расположение составных частей. Аппаратура, приборы и другие изделия устанавливаются на щите с учетом их конструктивных особенностей и выполняемых функций.

Щит системы пожаротушения выполнен на базе системы линейных шкафов TS8 серии 8880.500 (1800x800x500 мм) компании «Rittal».

В щитах данной серии предусмотрена защита от несанкционированного доступа посредством установки замков. Также устанавливается система регулирования температуры воздуха внутри щита на базе термореле, вентилятора и отверстий для забора воздуха. Общий вид щита системы пожаротушения представлен на листах с шифром ФЮРА.42100.006 ВО.

На виде спереди шкафа в верхней части располагаются светильник (EL1) и модульный контроллер ЭЛСИ-ТМК (АС1). Ниже расположен выключатель концевой (SQ1). На DIN-рейке располагается блок питания (G1), реле Finder 40.52.8.230, устройство защиты от перенапряжений PT 2-PE/S-230AC (Z01), клеммные сборки питающего напряжения (ХТ01...ХТ04). В средней части шкафа расположены термореле (КК1), группа автоматических выключателей (QF1...QF6), розетка ~220 В (XS1), группа устройств защиты от перенапряжений (Z1...Z12) и группа реле PLC-RPIT-24DC/21. Ниже расположены источник бесперебойного питания (GB1) и частотный преобразователь ПЧВ1.

В нижней части шкафа расположены клеммные сборки для подключения проводов, по которым идет информация на модули ввода вывода ПЛК. Провода складываются в специальные короба, расположенные вертикально по боковым панелям и горизонтально на задней стенке.

Спецификация на приборы и технические средства для щита управления приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.006 СБС.

При достижении датчиками температуры заданной уставки, а также срабатывании пожарных извещателей, необходимо, чтобы в емкости был необходимый уровень тушащего состава. При проверке необходимых условий срабатывает сигнал на включение основного насоса, который подает тушащую жидкость на защищаемый объект. Происходит проверка датчика давления за основным насосом с целью проверки его работоспособности. В случае падения давления за основным насосом происходит включение резервного насоса. При срабатывании пожарного извещателя, а также в зависимости от вида ЛГМ, происходит подготовка специализированного тушащего состава (вода или вода с жидкими/сыпучими добавками). Для приготовления тушащего состава на основе сыпучих добавок происходит открытие задвижки РОЗ на трубопроводе с сыпучими добавками и включение вибрационного устройства, препятствующего налипанию твердых частиц на стенки трубопровода и бака с тушащим составом. Для приготовления тушащего состава на основе жидких добавок, происходит слив части воды из бака с водой (путем открытия задвижки РО4) и открытие задвижки РО2 на трубопроводе с жидкими добавками. Далее тушащая жидкость по пожарному трубопроводу направляется к форсуночным устройствам высокой или низкой дисперсности (в зависимости от показаний датчика вязкости, установленного на трубопроводе). Происходит тушение возгорания.

2.9 Разработка мнемосхемы SCADA-системы

Мнемосхема предназначена для предоставления информации о значении контролируемых параметров и состоянии системы, получаемой с нижнего и среднего уровней. Требования, по которым разрабатывается мнемосхема устанавливает предприятие, на котором она будет реализована. В данной работе мнемосхема разрабатывалась в соответствии с общими требованиями [81]: на мнемосхеме располагаются только необходимые оператору элементы для управления объектом; наиболее существенные группы элементов или единичные элементы выделены формой, размером и цветом; размер и форма панели обеспечивают оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных и управляющих элементов.

В соответствии с вышеописанными требованиями разработана мнемосхема системы пожаротушения (приложение В). На мнемосхеме условно показаны две области, соответствующие двум помещениям. В первом помещении (насосной) располагается резервуар с противопожарным запасом воды, баки с жидкими и сыпучими добавками, пожарный трубопровод с основным и резервным насосами. На трубопроводах размещаются также контрольно-измерительная аппаратура (расходомеры, датчики давления, вязкости) в соответствии с реальным размещением датчиков. Также на мнемосхеме выводится информация о значении измеряемых параметров – уровень воды в резервуарах с тушащим составом, водой и жидкими добавками, давление за питающим, основным и резервным насосами, температура воздуха в защищаемом помещении, значение вязкости тушащего состава, а также значения расхода воды, жидких и сыпучих добавок, тушащего состава, направляемого к форсункам.

Второе помещение представляет собой защищаемое помещение – склад лесоматериалов, где возможно возникновение пожара. В этом помещении показан пожарный трубопровод с распылительными форсунками, а также датчики температуры и пожарные извещатели.

При превышении температуры и срабатывании пожарных извещателей, появляется изображение пламени и возникает Alarm «Пожар в помещении!», после чего включается автоматизированная система пожаротушения с информированием об этом оператора. При открытии задвижек и включении насосов рядом с их условным обозначением загорается сигнализирующая индикация. При недостаточном уровне тушащего состава в баке рядом с ним загорается индикация с миганием цвета и возникает Alarm «Недостаточный уровень тушащего состава!». В случае неисправности основного и резервного насосов возникает Alarm «Насосы неисправны, авария!».

Также производится включение аварийной (световой и звуковой) сигнализации в помещении. Возможно ручное включение пожарной сигнализации с помощью ручного пожарного извещателя (элемент «Slider»).

3 Расчет параметров настройки регулятора

3.1 Идентификация объекта управления

Целью идентификации является получение математической модели объекта управления. Разделяют активную и пассивную идентификацию. В инженерной практике, как правило, применяют активную идентификацию, предусматривающую подачу на объект специализированного входного воздействия. На начальном этапе строится кривая разгона (рисунок 3.1.1). В настоящей работе для получения кривой разгона использована динамическая модель изменения расхода в трубопроводе. Кривая разгона получена следующим образом. На вход объекта подается скачок путем изменения положения регулирующего органа на 10 %. При этом изменение расхода воды является выходной величиной объекта.

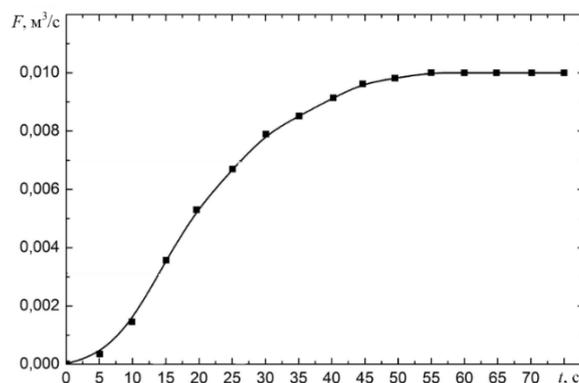


Рисунок 3.1.1 – Кривая разгона объекта управления: t – время,
 F – расход

Следующим этапом является определение по полученной переходной характеристике динамических параметров объекта: постоянной времени T , запаздывания τ и коэффициента передачи k .

Передаточная функция для кривой, приведенной на рис. 3.1.1, представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP + 1)} e^{-P\tau}, \quad (3.1.1)$$

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

При нулевых начальных условиях решение уравнения 3.1.1 имеет следующим вид:

$$\begin{cases} h(t) = 0, 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right], t > \tau. \end{cases} \quad (3.1.2)$$

Получаем два неизвестных значения – время запаздывания и постоянную времени.

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 $h(t)$. Для определения неизвестных значений на кривой разгона строим две точки – А и Б. Точка А определяется как $0,33 k$, а точка Б имеет ординату $0,7 k$. Постоянная времени T и время запаздывания τ определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (3.1.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (3.1.4)$$

где t_A и t_B – значения времени при соответствующих точках на кривой; h_A и h_B – значения ординат при точках А и Б.

Определяем расположение на кривой точек А и Б и находим необходимые неизвестные параметры (рис. 3.1.2).

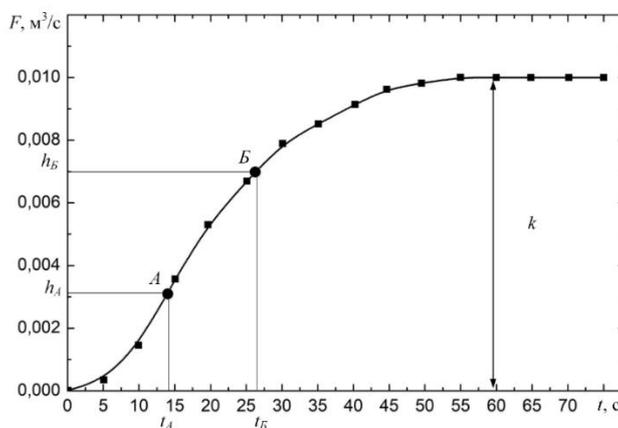


Рисунок 3.1.2 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора: t – время, F – расход

Далее проводится аппроксимация кривой по методу Орманна. Вычисление постоянной времени T и запаздывания τ проводится по формулам:

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (3.1.5)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1,2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (3.1.6)$$

В формулы (3.1.5) и (3.1.6) подставляем значения времени для точек А и Б на кривой разгона и получаем:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 26,4 - 13,9) = 7,65,$$

$$T = 1,25(26,4 - 13,9) = 15,625.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{0,01}{(15,625P + 1)} e^{-7,65\tau}. \quad (3.1.7)$$

3.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 3.2.1 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

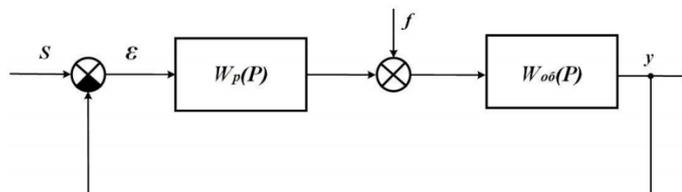


Рисунок 3.2.1 – Структурная схема системы регулирования

Определим расширенные амплитудно–фазовые частотные характеристики (РАФЧХ) объекта регулирования, подставив в формулу (3.1.7) оператор $p = -m\omega + i\omega$ или $p = -\eta + i\omega$, где ω – частота, c^{-1} . В первом случае расчётные формулы обеспечивают получение границы заданной степени колебательности системы, а во втором – получение границы заданной степени устойчивости системы в пространстве параметров настройки регулятора.

Подставим в формулу (3.1.7) оператор $p = -m\omega + i\omega$ и получим:

$$\begin{aligned}
W_{oo}(P) &= \frac{K \cdot e^{-\tau(-m\omega+i\omega)}}{T \cdot (-m\omega+i\omega) + 1} = \frac{K \cdot e^{m\omega\tau} \cdot e^{-i\omega\tau}}{(1-Tm\omega) + iT\omega} = \\
&= \frac{K \cdot e^{m\omega\tau} \cdot (\cos(\omega\tau) - i \cdot \sin(\omega\tau)) \cdot [(1-Tm\omega) + iT\omega]}{(1-Tm\omega)^2 + T^2\omega^2} = \\
&= \frac{K \cdot e^{m\omega\tau} \cdot ((1-Tm\omega)\cos(\omega\tau) - T\omega \cdot \sin(\omega\tau))}{(1-Tm\omega)^2 + T^2\omega^2} - i \frac{K \cdot e^{m\omega\tau} \cdot ((1-Tm\omega)\sin(\omega\tau) - T\omega \cdot \cos(\omega\tau))}{(1-Tm\omega)^2 + T^2\omega^2}.
\end{aligned}$$

(3.2.1) Введем обозначения:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 = 1 - Tm\omega, \\ A_2 = T\omega, \\ A_0 = A_1 + A_2, \\ A_3 = \frac{A_1 K}{A_0}, \\ A_4 = \frac{A_2 K}{A_0}, \\ A_5 = e^{m\omega\tau}. \end{array} \right. \quad (3.2.2)$$

Тогда выражения для составляющих РАФЧХ рассчитываются по следующим формулам:

$$\operatorname{Re}_{oo}(m, \omega) = A_5 [A_3 \cos(\omega\tau) + A_4 \sin(\omega\tau)], \quad (3.2.3)$$

$$\operatorname{Im}_{oo}(m, \omega) = A_5 [A_4 \cos(\omega\tau) - A_3 \sin(\omega\tau)], \quad (3.2.4)$$

$$A_{oo}^2(m, \omega) = \operatorname{Re}_{oo}(m, \omega) + \operatorname{Im}_{oo}(m, \omega). \quad (3.2.5)$$

Параметры настройки ПИ–регулятора рассчитываются как:

$$\frac{k_p}{T_u} = \frac{(-1)}{A_{ooP}^2(m, \omega)} \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \operatorname{Im}_{ooP}(m, \omega); \quad (3.2.6)$$

$$\frac{k_p}{T_u} = \frac{(-1)}{A_{ooP}^2(m, \omega)} \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \operatorname{Im}_{ooP}(m, \omega); \quad (3.2.7)$$

$$k_p = \frac{(-1)}{A_{ooP}^2(m, \omega)} \cdot (\operatorname{Re}_{ooP}(m, \omega) + m \cdot \operatorname{Im}_{ooP}(m, \omega)), \quad (3.2.8)$$

где $\operatorname{Re}_{oo}(m, \omega)$ и $\operatorname{Im}_{oo}(m, \omega)$ – расширенные ВЧХ и МЧХ эквивалентного объекта, $A_{ooP}(m, \omega) = \sqrt{\operatorname{Re}_{ooP}(m, \omega) + \operatorname{Im}_{ooP}(m, \omega)}$ – расширенная АЧХ эквивалентного объекта.

Задаем степень затухания $\psi = 0,8$, тогда степень колебательности:

$$m = \frac{-1}{2 \cdot \pi} \ln(1 - \psi) = 0,256. \quad (3.2.9)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой (3.1.7). В таблицах 3.2.1, 3.2.2 приведены листинги результатов расчетов, выполненных в Mathcad. В таблице 3.2.1 приведены полученные расширенные частотные характеристики объекта. Полученные значения представлены для диапазона частот от 0 до 0,04 с⁻¹, с шагом по частоте в 0,001 с⁻¹.

Таблица 3.2.1– Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m,\omega)$	$\text{Im}_{об}(m,\omega)$	$A_{об}(m,\omega)$
0	0.01	0	0.01
0.002	0.01016	-0.00048	0.01017
0.004	0.01028	-0.00097	0.01033
0.006	0.01038	-0.00149	0.01048
0.008	0.01043	-0.00202	0.01063
0.01	0.01045	-0.00257	0.01076
0.012	0.01043	-0.00312	0.01089
0.014	0.01037	-0.00368	0.011
0.016	0.01027	-0.00423	0.0111
0.018	0.01012	-0.00478	0.01119
0.02	0.00993	-0.00533	0.01127
0.022	0.0097	-0.00585	0.01133
0.024	0.00943	-0.00636	0.01138
0.026	0.00912	-0.00685	0.01141
0.028	0.00878	-0.00732	0.01143
0.03	0.00841	-0.00775	0.01143
0.032	0.00801	-0.00815	0.01143
0.034	0.00758	-0.00852	0.01141
0.036	0.00714	-0.00885	0.01137
0.038	0.00668	-0.00915	0.01133
0.04	0.00621	-0.00941	0.01128
0.042	0.00573	-0.00964	0.01121
0.044	0.00525	-0.00983	0.01114
0.046	0.00477	-0.00998	0.01106
0.048	0.00428	-0.0101	0.01097
0.05	0.00381	-0.01019	0.01088
0.052	0.00334	-0.01025	0.01078

В таблице 3.2.2 приведены значения параметров ПИ-регулятора.

Таблица 3.2.2 – Значение параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0	-100	0
0.01	-83.02772	0.22745
0.019	-64.79795	0.86417

Продолжение таблицы 3.2.2

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0.029	-45.645	1.83805
0.038	-25.89147	3.07328
0.048	-5.84599	4.49207
0.057	14.19878	6.01608
0.067	33.96783	7.56786
0.076	53.20532	9.07221
0.086	71.67579	10.4573
0.095	89.16517	11.6558
0.105	105.48151	12.60581
0.114	120.45549	13.25166
0.123	133.94075	13.54462
0.133	145.81393	13.44343
0.142	155.97459	12.91472
0.152	164.3449	11.93332
0.162	170.86917	10.48237
0.171	175.51317	8.55344
0.18	178.26339	6.14638
0.19	179.12611	3.26918
0.2	178.12636	-0.06229

Для удобства и визуализации по данным таблицы 3.2.2 построим график зависимости $K_p/T_u(K_p)$ (рисунок 3.2.2). Полученная кривая является линией заданной степени затухания процесса регулирования. Все значения, которые попадают на эту кривую, обеспечивают заданную степень затухания. Значения, которые лежат внутри области, ограниченной данной кривой и осями координат, обеспечивают процесс регулирования со степенью затухания больше заданной, а лежащие вне этой области – со степенью затухания меньше заданной.

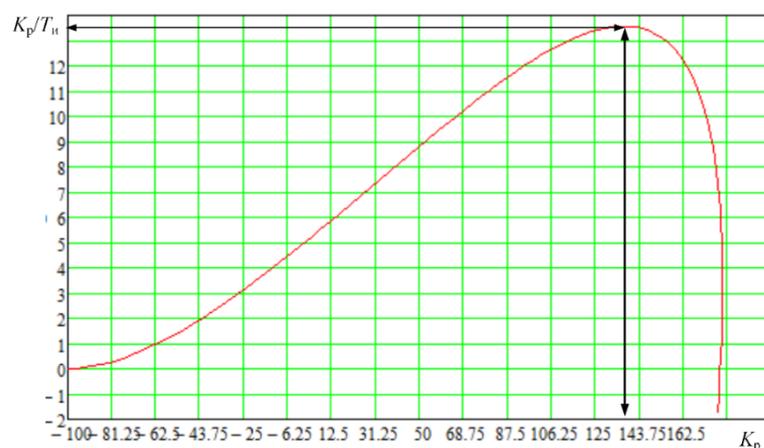


Рисунок 3.2.2 – Параметры настройки ПИ-регулятора

Используя второй интегральный критерий качества (минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением соотношения K_p/T_u на линии заданного запаса устойчивости), находим оптимальные параметры настройки регулятора:

$$k_p = 133,94, T_u = 9,89.$$

Значение постоянной интегрирования определено из соотношения:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p / T_u}. \quad (3.2.10)$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (3.2.11)$$

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

Передаточная функция ПИ–регулятора описывается следующей формулой:

$$W_p(P) = K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot P}. \quad (3.2.12)$$

После подстановки формулы (3.2.12) в формулу (3.2.11) выражение для передаточной функции замкнутой АСР по каналу задающего воздействия будет иметь следующий вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot (K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot P})}{1 + W_{об}(P) \cdot (K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot P})} = \frac{K_p \cdot W_{об}(P) \cdot (T_u \cdot P + 1)}{T_u \cdot P + K_p \cdot W_{об}(P) \cdot (T_u \cdot P + 1)}. \quad (3.2.13)$$

Переходный процесс идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. Для этого получим выражение для амплитудно–фазовой частотной характеристики замкнутой системы путем замены оператора P на $i\omega$:

$$W(i\omega) = \frac{K_p \cdot W_{об}(i\omega) \cdot (T_u \cdot i\omega + 1)}{T_u \cdot i\omega + K_p \cdot W_{об}(i\omega) \cdot (T_u \cdot i\omega + 1)}. \quad (3.2.14)$$

С помощью программного обеспечения MathCad рассчитываем вещественную частотную характеристику замкнутой АСР при задающем воздействии. На рисунке 3.2.3 представлен график вещественной частотной характеристики.

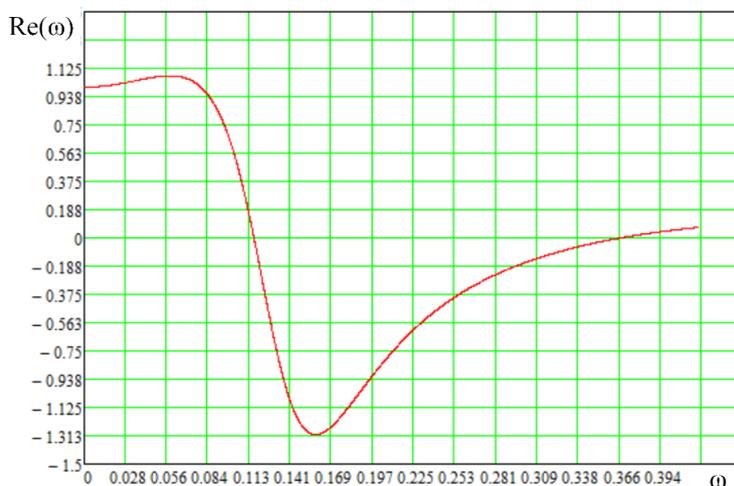


Рисунок 3.2.3 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (3.2.15)$$

где $\text{Re}(\omega)$ – вещественная частотная характеристика системы; ω - частота; t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором вещественная частотная характеристика системы стремится к 0. Из рисунка 3.2.3 определяем это значение.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,366} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (3.2.16)$$

На рисунке 3.2.4 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса проведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям при предъявленных к системе ограничениях.

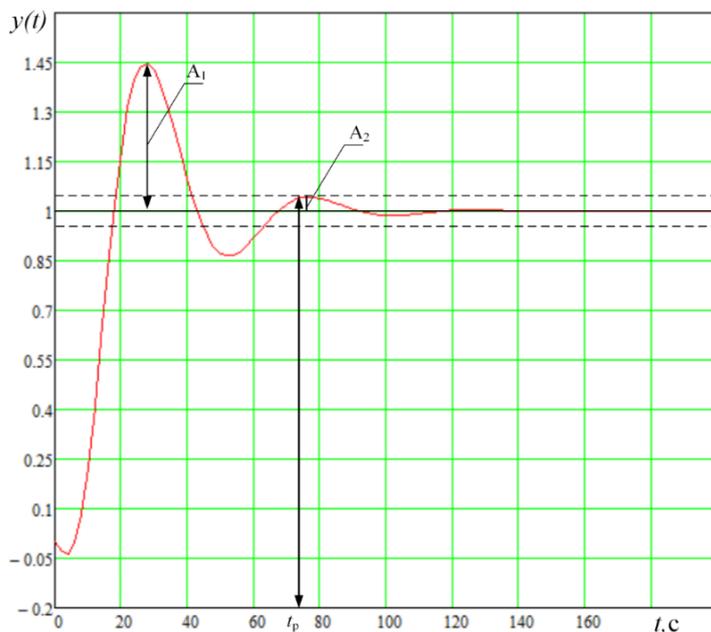


Рисунок 3.2.4 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Прямые оценки качества:

1) максимальная динамическая ошибка: $A_1 = 0,45$;

2) перерегулирование: $\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,45}{1} \cdot 100 = 45$;

3) степень затухания переходного процесса: $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,075}{0,45} = 0,83$,

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

4) статическая ошибка: $\varepsilon_{CT} = S - y(\infty) = 0$;

5) время регулирования: $t_p = 75$ с при величине $\delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05$.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ82	Кропотова Светлана Сергеевна

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Затраты, идущие на оборудование, рассчитываются согласно стоимости оборудования по прайс-листам, либо по договорной цене. Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, районный коэффициент по г. Томску. Бюджет проекта не менее 2250000 руб.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Число календарных дней в году – 366; продолжительность выполнения проекта – 5 месяцев; дополнительная заработная плата – 13% от основной; накладные расходы - 10% от суммы всех расходов</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисление в социальные фонды 30 %</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы, потенциальные потребители результатов исследования.</i>
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление графика проведения научно-технического исследования; определение бюджета научно-технического исследования; оценка эффективности проекта</i>
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Оценка ресурсной и финансовый эффективности исследований.</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<i>Оценка конкурентоспособности технических решений Матрица SWOT График проведения НТИ Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ Потенциальные риски</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Кропотова Светлана Сергеевна		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой научно-исследовательской работы является «Автоматизированная система тушения с применением разных тушащих составов».

Целью научно-исследовательской работы является повышение эффективности тушения и ликвидации пожаров на складах лесоматериалов за счет применения разных по составу и свойствам полидисперсных жидкостных аэрозолей.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИР, оценка эффективности проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИР;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- провести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Пожары наносят огромный материальный ущерб и в ряде случаев сопровождаются гибелью людей. В связи с этим защита от пожаров является важнейшей обязанностью каждого члена общества и проводится в общегосударственном масштабе. На этапах развития пожара необходимым является своевременное обнаружение источника горения и последующее его устранение. В настоящей исследовательской работе предложен вариант тушения и локализации пожаров на складах лесоматериалов полидисперсными жидкостными аэрозолями. За счёт добавления в воду специализированных

добавок достигается увеличение площади тушения и минимизируется время тушения.

Для того, чтобы определить потенциальных потребителей, необходимо определить целевой рынок. Целевым рынком для данной разработки являются предприятия деревообработки и лесопромышленные компании. Потенциальные потребители – компании, специализирующиеся на обработке и хранении лесных горючих материалов (обработанная и необработанная древесина, щепки, опилки и т.д.), не оснащенные системами пожаротушения (для тушения используются ручные средства, например, разного рода огнетушители, пожарные рукава) или имеющие автоматические системы пожаротушения, где основным тушащим составом является вода.

Таковыми компаниями, в частности, являются «АсиноЛесстрой-2М», «Кедр-Томск», «Латат». Стоимость системы пожаротушения на основе воды на таких складах составляет в среднем 1 600 000 руб. (с учетом стоимости проектирования системы пожаротушения и сигнализации, технического обслуживания и затрат на оборудование). Техническое обслуживание (ТО) системы пожаротушения проводится планово (раз в год) с целью контроля ее функционирования в двух режимах управления – автоматического и ручного. В случае срабатывания системы пожаротушения ТО системы проводится в частном порядке с целью пополнения затраченных объёмов тушащего состава и замены форсуночных устройств (в случае необходимости). Такого рода ТО систем пожаротушения составляет в среднем 13500 руб.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически в связи с тем, что такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, успешнее противостоять своим конкурентам. Для определения эффективности научной разработки проведем сравнение применения воды (K_v), полидисперсных жидкостных аэрозолей ($K_{пжа}$) и хладонов (K_x) в качестве огнетушащих средств в системах пожаротушения.

Такой анализ проводится с использованием оценочной карты (таблица 4.1.2.1).

Таблица 4.1.2.1– Оценочная карты сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность			
		K_B	$K_{пжа}$	K_X	K_B	$K_{пжа}$	K_X	
Технические критерии оценки ресурсоэффективности								
Повышение производительности труда пользователя	0,14	3	4	5	0,42	0,56	0,7	
Удобство в эксплуатации	0,13	5	4	3	0,65	0,52	0,39	
Энергоэкономичность	0,16	1	5	2	0,16	0,8	0,32	
Надежность	0,13	2	3	2	0,26	0,39	0,26	
Уровень шума	0,05	2	3	2	0,1	0,15	0,1	
Безопасность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2	
Функциональная мощность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3	
Простота эксплуатации	0,03	5	4	2	0,15	0,12	0,06	
Качество интеллектуального интерфейса	0,02	3	5	3	0,06	0,1	0,06	
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,02	4	5	3	0,08	0,1	0,06	
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности								
Конкурентоспособность продукта	0,04	2	4	4	0,08	0,16	0,16	
Уровень проникновения на рынок	0,02	4	3	3	0,08	0,06	0,06	
Цена	0,03	4	4	2	0,12	0,12	0,06	
Предполагаемый срок эксплуатации	0,01	2	3	3	0,02	0,03	0,03	
Послепродажное обслуживание	0,02	4	3	3	0,08	0,06	0,06	
Финансирование научной разработки	0,02	3	4	2	0,06	0,08	0,04	
Срок выхода на рынок	0,01	4	4	1	0,04	0,04	0,01	
Наличие сертификации разработки	0,02	3	3	2	0,06	0,06	0,04	
Итого		1	60	70	49	3,07	4,05	2,91

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента, B_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Рассматриваемое в проекте решение (применение в качестве тушащего состава полидисперсных жидкостных аэрозолей) имеет наиболее высокий коэффициент конкурентоспособности по сравнению с конкурентами.

4.1.3 SWOT- анализ

SWOT анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяемый для исследования внешней и внутренней среды проекта. Для того, чтобы найти сильные и слабые стороны применения полидисперсных жидкостных аэрозолей для тушения пожара, проведем SWOT-анализ. Матрица SWOT-анализа представлена в таблице 4.1.3.1.

Таблица 4.1.3.1 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Выполнение системы из российских комплектующих.</p> <p>С2. Более низкая стоимость специализированных добавок по сравнению с другими технологиями (например, газовое пожаротушение или хладоны).</p> <p>С3. Малый расход огнетушащего вещества.</p> <p>С4. Малый ущерб экологии в случае срабатывания системы.</p> <p>С5. Универсальность системы.</p> <p>С6. Взаимозаменяемость добавляемых к воде компонентов и элементов системы.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость оборудования.</p> <p>Сл2. Сложность пуска и отладки.</p> <p>Сл3. Узкая направленность некоторых жидкофазных огнетушащих составов.</p> <p>Сл4. Многостадийность методики.</p>
--	--	---

Продолжение таблицы 4.1.3.1

<p>В1. Повышение эффективности работы системы пожаротушения. В2. Снижение расхода воды. В3. Наличие комплектующих в свободном доступе на российском рынке. В4. Возможность выхода на внешний рынок.</p>	<p>1. Малый расход огнетушащего вещества на основе воды и специализированных добавок приводит к повышению эффективности работы системы пожаротушения и снижению расхода воды. 2. Большой потенциал системы, а так же возможность выхода на внешний рынок обуславливаются принципиально новым и эффективным способом тушения возгораний. 3. Возможность быстрой замены и наличие оборудования системы в свободном доступе связаны с выполнением системы из отечественных комплектующих.</p>	<p>1. Возможность снизить стоимость системы за счет замены компонентов.</p>
<p>Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологий пожаротушения. У2. Отсутствие спроса на тушение пожаров полидисперсным жидкостным аэрозолям.</p>	<p>1. Более низкая стоимость и универсальность системы привлечёт потенциальных потребителей. 2. Малый ущерб экологии в случае срабатывания системы может привести к росту спроса тушения пожаров полидисперсными аэрозолями.</p>	<p>1. Возможность замены в системе огнетушащих составов расширит область применения системы.</p>

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям, построим интерактивные матрицы проекта (таблица 4.1.3.2 – 4.1.3.5).

Таблица 4.1.3.2 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Возможности проекта	B1	+	+	+	+	0	+
	B2	+	+	+	-	-	+
	B3	+	+	-	-	+	0
	B4	-	+	+	+	+	+

Из анализа таблицы 4.1.3.2 можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: B1C1C2C3C4C6, B2C1 C2C3C6, B3C1C2C5, B4C2C3C4C5C6.

Таблица 4.1.3.3 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	+	-	-	+
	В2	-	-	0	+
	В3	+	0	0	0
	В4	-	-	-	-

Из анализа таблицы 4.1.3.3 можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и возможности: В1Сл1Сл4, В2Сл4, В3Сл1.

Таблица 4.1.3.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5	С6
	У1	-	+	+	+	+	+
	У2	-	+	+	+	0	0

Таблица 4.1.3.5 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	0	0
	У2	+	+	+	+

Выполненный SWOT-анализ позволяет выявить внешние и внутренние факторы, которые влияют на развитие проекта, что позволяет изыскать новые возможности развития и определить основные риски.

4.2 Планирование комплекса работ НИР

4.2.1 Составление перечня проводимых работ

Для реализации исследования необходимо выполнить ряд задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами. Основные решаемые в данной работе задачи указаны в таблице 4.2.1.1. При реализации конкретной задачи необходимо оптимально спланировать занятость каждого из участников проекта и сроки проведения отдельных работ. На начальном этапе необходимо составить полный перечень проводимых работ и определить их исполнителей и оптимальную продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации исследования. Линейный график зарекомендовал себя как наиболее удобный, простой и

наглядный способ для этих целей. Для построения линейного графика составим перечень работ для каждого исполнителя и продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 4.2.1.1, где научный руководитель – НР, магистрант – М.

Таблица 4.2.1.1 – Перечень работ проекта

Этапы работы	Должность исполнителей	Загрузка исполнителей
Составление и утверждение задания ТЗ	НР	НР – 100 %
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, М	НР – 20 % М – 80 %
Разработка календарного плана	НР, М	НР – 95 % М – 5 %
Реализация разработанных методов	НР, М	НР – 10 % М – 90 %
Оценка эффективности полученных результатов	М	М – 100 %
Анализ результатов исследования	НР, М	НР – 15 % М – 85 %
Разработка конструкторской документации	НР, М	НР – 5 % М – 95 %
Оформление пояснительной записки	НР, М	НР – 10 % М – 90 %
Сдача НИР	М	М – 100 %

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами: технико-экономическим и опытно-статическим.

Воспользуемся опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

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

где t_{\min} – минимальная трудоемкость работ, человеко-день; t_{\max} – максимальная трудоемкость работ, человеко-день.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{C_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн. C_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни, воспользуемся формулой:

$$T_{РД} = T_{Рi} \cdot T_{КД},$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 $T_{Рi}$ – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $T_{КД}$ – коэффициент календарности:

$$T_{КД} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни в 2020 году ($T_{КАЛ} = 366$); $T_{ВД}$ – выходные дни в 2020 году; $T_{ПД}$ – праздничные дни в 2020 году. Количество выходных и праздничных дней в 2020 году – 118.

$$T_{КД} = \frac{366}{366 - 118} = 1,476.$$

В таблице 4.2.1.2 приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 4.2.1.2 – Длительность этапов работ

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни						Длительность работ, человеко-дни			
		t_{min}		t_{max}		$t_{ож}$		$T_{Рi}$		$T_{РД}$	
		М	НР	М	НР	М	НР	М	НР	М	НР
Составление и утверждение задания ТЗ	НР	–	2	–	5	–	3,2	–	3,2	–	4,72
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, М	16	6	21	8	18	6,8	9	3,4	13,28	5,02
Разработка календарного плана	НР, М	2	5	3	7	2,4	5,8	1,2	2,9	1,77	4,28
Проведение исследований	НР, М	38	14	42	16	39,6	14,8	19,8	7,4	29,2	10,9
Оценка эффективности и полученных результатов	М	20	–	25	–	17	–	17	–	25,09	–

Продолжение таблицы 4.2.1.2

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни						Длительность работ, человеко-дни			
		t_{\min}		t_{\max}		$t_{\text{ож}}$		T_{Pi}		$T_{\text{РД}}$	
		М	НР	М	НР	М	НР	М	НР	М	НР
Анализ результатов исследования	НР, М	25	10	27	11	25,8	10,4	12,9	5,2	19,04	7,68
Разработка конструкторской документации	НР, М	31	5	34	7	32,2	5,8	16,1	2,9	23,7	4,28
Составление пояснительной записки	НР, М	10	2	12	3	10,8	2,4	5,4	1,2	7,97	1,77
Сдача НИР	М	1	–	1	–	1	–	1	–	1,476	–
Итого								82,4	26,2	121,53	38,6

Таким образом, составлен полный перечень проводимых работ. Результатом планирования работ является линейный график реализации проекта (приложение Г). Для построения данного графика в таблице 4.2.1.2 рассчитана длительность этапов работ и число исполнителей на каждом этапе.

4.2.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В бюджете научно-технического исследования должны быть отображены всех видов расходов, связанных с выполнением проекта. В процессе формирования бюджета разработки используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты разработки;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат проводится по действующим договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3...5 % от цены). В эту же статью включаются затраты

на оформление документации. Результаты по данной статье заносятся в таблицу 4.2.2.1.

Для вычисления материальных затрат воспользуемся формулой:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.2.2.1– Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материал, руб.
Бумага	лист	350	2	700
Картридж	шт.	1	1200	1200
Ручка	шт.	2	15	30
Тетрадь	шт.	1	25	25
Электроэнергия	кВт/час	37	2,9	107,3
Итого				2062,3

Затраты, идущие на специальное оборудование, рассчитываются согласно стоимости оборудования по прайс-листам, либо по договорной цене. К данной группе затрат относятся затраты на оборудование, используемое при реализации научно-исследовательской работы.

В таблице 4.2.2.2 приведены затраты на оборудование. Также для реализации АСУ тушения разными составами необходимо приобретение специализированных добавок к воде (жидкофазные и сыпучие добавки). В качестве таких добавок в разрабатываемой системе выбраны пенообразователь АFFF и Бишофит. С учетом площади склада (не более 800 м²) необходимо приобрести 300 кг пенообразователя и 300 кг сыпучих добавок. Стоимость пенообразователя АFFF за 1 кг составляет 52 руб.

Стоимость 1 кг Бишофита составляет 64 руб. Итого затраты на приобретение добавок составляют 34800 руб.

Таблица 4.2.2.2 – Затраты на оборудование

Наименование	Цена за ед., руб	Количество, шт.	Затраты на оборудование, руб.
Термопреобразователь сопротивления ТСМУ(ТСПУ)014 ИНД	19900	2	39800
Датчик избыточного давления Метран-150 АС TG	32000	2	64000
Расходомер US-800-12	37400	2	74800
Расходомер турбинный Blancett FloClean	22100	2	44200
Массовый расходомер DensFlow	42000	1	42000
Поплавковый уровнемер ПМП-128	21050	3	63150
Вибрационный вискозиметр FVM Micro Motion	31260	1	31260
Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК, модули:			
Процессорный модуль контроллера ТС 711 А8	21300	1	21300
Модуль ввода аналоговых сигналов ТА 715 24DC	20150	1	20150
Модуль ввода/вывода аналоговых сигналов ТА 713 8I 8O DC	20500	1	20500
Модуль ввода дискретных сигналов TD 711 32I 024DC	20350	1	20350
Модуль ввода дискретных сигналов TD 721 16I 024DC	20350	1	20350
Модуль вывода дискретных сигналов TD 712 32O 024DC	20000	1	20000
Блок питания TP 712 024 DC	19000	1	19000
Коммуникационный модуль TN 713 2 485	21600	1	21600
Блок ручного управления БРУ-42-03	25481	7	178367
Бесконтактный пускатель реверсивного типа ПБР-2МП	3300	7	23100
Механизм электроисполнительный однооборотный МЭО-250/25-0,25-Р-99	16500	7	115500
Горизонтальный центробежный насос MegaСРК	55600	3	166800

Продолжение таблицы 4.2.2.2

Наименование	Цена за ед., руб	Количество , шт.	Затраты на оборудование, руб.
Площадочный вибратор ИВ-06-25	7550	1	7550
Частотный преобразователь ПЧВ 101-К37-В	6720	1	6720
Комбинированный пожарный извещатель ИПЭС -ИК/УФ	35600	3	106800
Ручной пожарный извещатель Спектрон-535 Exd-M-K0	4750	1	4750
Конденсатор К73-17С-0.22 мкФх400В	59	1	59
Светильник SZ4139 140	9600	1	9600
ИБП EF UPS 1AC/24DC-16	4200	1	4200
Аккумуляторный модуль АБ-24М	3900	1	3900
Сирена XVS 10 MMW	1500	1	1500
Сигнальная лампа ХВ5-АВВ4	339	13	4407
Реле Finder 40.52.8.230	214	1	214
Реле PLC-RPIT-230UC/21 2900305	250	2	500
Реле PLC-RPIT-24DC/21 290099	311	84	26124
Термореле KTS 1141	3500	1	3500
Вентилятор К5KV12230	2200	1	2200
Выключатель LV426100	10200	3	30600
Ограничитель А9L16339	1200	2	2400
Кнопка LV426110	450	1	450
Преобразователь ET-422	2500	12	30000
Блок БС-117-6/24	3400	8	27200
Защита РТ 2-РЕ/S-230 АС	750	1	750
Штекер	8200	4	32800
Разветвитель I-7513	1280	1	1280
Клемма STS 2,5-TWIN OG 3037504	38	106	4028
Переключатель FBS 3-5 3030174	25	21	525
Провод НВ 0.5 4 600 ГОСТ 17515-72	300 м	46	13800
Провод НВ 1 4 600 ГОСТ 17515-72	70 м	54	3780
Провод ПВС 2х1 ГОСТ 7399-97	2,5 м	49	122,5
Провод ПВС 3х0.75 ГОСТ 7399-80	3 м	61	183
Маркировка крепежная ВТ 15/49	10	51	510
Плата ВТ 15/49	10	62	620
Шина заземления Rittal SZ 2364.000	1	2364	2364
Вставка замка	1	1607	1607
Ручка Rittal SZ 2435.000	1	2804	2804
Профиль Rittal TS 4694.000	6	2150	12900
Зажим кабельный	12	3350	40200
Элемент крепежный	2	780	1560
Заглушка DG 16	19	1270	24130
Кабельный щданг Rittal SZ 2595.000	1	3300	3300
Короб монтажный CD 30X80 3240282	9,5 м	325	3087,5
Рельс монтажный NS 35/7,5 ZN UNPERF 1206434	5,5 м	237	1303,5
Пенообразователь и Бишофит			34800
Итого			2 149 431

Для решения задач НИР вышеперечисленное оборудование не приобретается. Тем не менее, в таблице 4.2.2.2 приведен список оборудования, которое используется для осуществления НИР.

Затраты на заработную плату складываются из затрат на заработную плату для студента и для научного руководителя. Величина расходов на заработную плату определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В основную заработную плату включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда):

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

Основная заработная плата $Z_{осн}$ научного руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн (таблица 4.2.2.3).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_б \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где $Z_б$ – базовый оклад, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда); k_d – коэффициент доплат и надбавок; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Для научного руководителя:

$$Z_{дн(НР)} = \frac{39000 \cdot 10,4}{203} = 1998.$$

Для магистранта:

$$Z_{дн(М)} = \frac{2500 \cdot 10,4}{196} = 132,65.$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.2.2.3.

Таблица 4.2.2.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Магистрант
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней (выходные дни и праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск и невыходы по болезни)	45	52
Действительный годовой фонд рабочего времени	203	196

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12...20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Затраты на дополнительную заработную плату исполнителей проекта учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а так же выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

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

Для научного руководителя:

$$Z_{доп} = 0,13 \cdot 53946 = 7012,98.$$

Результаты расчета основной заработной платы исполнителей приведены в таблице 4.2.2.4.

Таблица 4.2.2.4 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{зп}$
Научный руководитель	30000	1,3	39000	1998	27	53946	60959
Магистрант	2500	–	2500	132,65	83	11009	11009

В таблице 4.2.2.5 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.2.2.5 – Заработная плата исполнителей

Заработная плата	Научный руководитель	Магистрант
Основная зарплата, руб.	53946	11009
Дополнительная зарплата, руб.	7012,98	–
Зарплата исполнителя, руб.	60959	11009
Итого		71968

Проведен расчет затрат на отчисления на социальные нужды. Социальные отчисления – это обязательные отчисления предприятий во внебюджетные социальные фонды.

В состав социальных отчислений входят отчисления: в пенсионный фонд; в фонд социального страхования; в фонд занятости; в фонды обязательного медицинского страхования.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (53946 + 7012,98) = 18287,7,$$

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

Проведем расчет накладных расходов. Накладные расходы – это косвенные издержки предприятия, возникающие дополнительно к основным затратам предприятия по производству и реализации продукции, работ, услуг.

К накладным расходам относятся:

- затраты на текущий ремонт зданий и сооружений, оборудования;
- затраты на заработную плату, обучение и содержание административно-управленческого аппарата;
- отчисления на уплату единого социального налога;
- затраты арендную плату за офис, склад продукции;

- отчисления на социальное страхование и разного рода обязательные платежи;
- затраты, связанные с эксплуатацией и содержанием основных средств;
- содержание офиса, оплату коммунальных услуг.

Расчет ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,1 \cdot (53946 + 7012,98) = 6095,9.$$

Проведем расчет затрат на амортизацию. Данная статья включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по тематике ВКР. Для выполнения экспериментальных исследований и разработки АСУ тушения эмульсиями и суспензиями использовалась компьютерная техника, общее время использования составило 122 дня. Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{к.вр}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}},$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники; $T_{\text{к.вр}}$ – календарное время; $C_{\text{кт}}$ – стоимость компьютерной техники; $T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники. Тогда:

$$K_{\text{ам}} = \frac{122}{366} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1666 \text{ руб./год.}$$

Полученные результаты расчета затрат на реализацию проекта приведены в таблице 4.2.2.6.

Таблица 4.2.2.6 – Смета затрат

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	2062,3
Стоимость оборудования	2149431
Затраты на заработную плату	71968
Затраты на социальные отчисления	18287,7
Накладные расходы	7762
Итого	2249511

В заключение можно сказать, что бюджет затрат НТИ составит 2249511 руб. Основными затратами при этом являются затраты на оборудование и заработную плату.

4.2.3 Потенциальные риски

К рискам проекта относятся возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и привести к нежелательным эффектам. Потенциальные риски проекта приведены в таблице 4.2.3.1.

Таблица 4.2.3.1– Реестр рисков

Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Появление конкурентов и аналогов	4	4	Средний	Усовершенствование системы, использование передовых технологий и методов (в частности, наиболее эффективных пожаротушащих составов)	Выход разрабатываемой системы на рынок
Финансирование	3	3	Низкий	Участие в тендерах	Не заинтересованность системой
Авария	2	5	Высокий	Проведение проверок оборудования, устранение неисправностей, своевременное техническое обслуживание	Выход из строя системы

Таким образом, выявлены риски проекта и способы их смягчения. Наиболее опасными рисками для разрабатываемой системы являются аварии и повреждения системы, так как система применяется для тушения пожаров и неисправность оборудования, приводящая к нарушению функционирования системы, может привести к большим материальным потерям и гибели людей.

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

Для оценки социальной эффективности выявим критерии социальной эффективности, на которые влияет реализация научного проекта (таблица 4.3.1).

Таблица 4.3.1– Критерии социальной эффективности

До	После
Длительное тушение возгорания. Большой материальный ущерб.	Длительность тушения пожара значительно снижается, повышается эффективность тушения.
Узкая область применения системы.	Возможность применения системы пожаротушения для разных объектов, что связано с универсальностью огнетушащих составов и возможностью их замены.
Низкая степень автоматизация системы.	Повышение уровня автоматизации системы, и, как следствие, производительности труда оператора за счет применения передовых средств автоматизации.
Большой расход воды и площади под резервуары с тушащей жидкостью.	Экономия площади расположения оборудования за счет уменьшения расходуемого объема воды.

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах или соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах.

Стоимость системы пожаротушения, где в качестве огнетушащего состава используются вода, составляет в среднем 1 600 000 руб. (с учетом стоимости

проектирования системы, технического обслуживания и затрат на оборудование).

Тогда интегральный финансовый показатель разработки составляет:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{2249511}{1653044} = 1,36;$$

$$I_{финр}^{исп2} = \frac{1653044}{1653044} = 1.$$

Как видно, применение системы пожаротушения полидисперсным жидкостным аэрозолем получается более дорогостоящим, чем при системе пожаротушения, где в качестве основного тушащего состава используется вода.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum a^i b^i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b^i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.3.2).

Таблица 4.3.2 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии / Объект исследования	Вес критерия	Исполнения	
		Вода (исп.1)	Полидисперсный жидкостной аэрозоль (исп.2)
Повышение производительности труда пользователя	0,1	3	4
Удобство в техническом обслуживании	0,1	5	4
Надежность	0,05	2	3
Эффективность	0,25	2	5
Энергосбережение	0,26	1	4
Уровень автоматизации	0,1	2	4
Возможность контроля и управления системой оператором	0,04	3	3
Функциональность	0,1	3	4
Итого	1		

$$I_{ресн1} = 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 2 + 0,25 \cdot 2 + 0,26 \cdot 1 + 0,1 \cdot 2 + 0,04 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 2,28 ,$$

$$I_{ресн2} = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,26 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,04 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 4,16 .$$

Из приведенных расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности является выгодным и превосходит аналоги. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрено использование наиболее эффективных пожаротушащих составов, что приведет к снижению времени тушения пожара (и, соответственно, уменьшению времени работы оборудования системы, снижению затрат на электроэнергию и уменьшению расхода воды).

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{ресн1}}{I_{финр}}, I_{исп2} = \frac{I_{ресн2}}{I_{финр}} .$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения системы пожаротушения позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность вариантов выполнения системы пожаротушения (с точки зрения применяемой огнетушащей жидкости) представлена в таблице 4.3.3. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} .$$

Таблица 4.3.3 – Сравнительная эффективность вариантов исполнения

Показатели	Исполнения	
	Вода	Полидисперсный жидкостной аэрозоль
Интегральный финансовый показатель разработки	1	1,36
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,28	4,16
Интегральный показатель эффективности	2,28	3,06
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,73	1

По результатам таблицы 4.3.3 можно сделать вывод, что система пожаротушения с полидисперсным жидкостным аэрозолем является наиболее эффективной по сравнению с системой пожаротушения на основе воды. Разрабатываемая система превосходит конкурентов по интегральному показателю ресурсоэффективности разработки, по интегральному показателю эффективности и по сравнительной эффективности вариантов исполнения.

При выявлении потенциальных потребителей результатов НТИ установлено, что основными потребителями разрабатываемой системы являются деревообрабатывающие предприятия и лесопромышленные компании.

С целью выявления внешних и внутренних факторов, которые влияют на развитие проекта, составлена матрица SWOT. Проанализированы сильные и слабые стороны проекта, что позволяет определить новые возможности развития и основные риски. В результате анализа конкурентных технических решений выявлено, что наиболее конкурентоспособными являются полидисперсные жидкостные огнетушащие составы.

Проведен расчет материальных затрат, затрат на оборудование а также расчет основной и дополнительной заработной платы, отчислений во внебюджетные фонды и расчет накладных расходов. Установлено, что основными затратами являются затраты оборудование и затраты на заработную плату. Общие затраты на НТИ составили 2249511 руб.

Определены потенциальные риски проекта, из которых наиболее опасными являются аварии и повреждения системы.

Составлен перечень этапов и работ и распределены исполнители. В качестве исполнителей выступали научный руководитель и магистрант. Также разработан календарный план-график проведения НТИ, на котором изображены временные интервалы выполнения различных этапов.

Рассчитаны интегральные финансовые показатели разработки, интегральные показатели ресурсоэффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения. В результате расчетов установлено, что разрабатываемая система по данным показателям превосходит конкурентов.

Прямого аналога разрабатываемой системе нет. Особенностью системы является ее универсальность и многофункциональность.

Согласно статистическим данным, ежегодно в России на объектах переработки и хранения древесины регистрируется несколько тысяч пожаров. При этом средний ущерб от пожаров на объектах лесной отрасли примерно в 3 раза превышает средний по стране. Наибольшую угрозу представляют пожары на складах лесоматериалов, выходящие из-под контроля (распространяются на десятки гектаров) и уничтожающие большие запасы древесины и близ лежащие леса. В статистических данных о пожарах в РФ за 2019 год указано, что количество пожаров на складских помещениях достигает 4 156 пожаров, при этом прямой материальный ущерб составляет 5 514 440 000 руб. Ежегодный ущерб от пожаров на складах производственных предприятий многократно превышает затраты на реализацию НТИ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ82	Кропотова Светлана Сергеевна

Школа	Отделение (НОЦ)	ИШЭ
Уровень образования Магистратура	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Автоматизированная система тушения с применением разных по компонентному составу жидкостей	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка автоматизированной системы тушения пожаров на складах лесоматериалов с применением полидисперсных жидкостей с разным компонентным составом. Основная область применения – защита складов с лесо- и пиломатериалами и ликвидация пожаров класса А.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации; Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: статья 5.27.1 Кодекса РФ об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195–ФЗ. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" (с изменениями и дополнениями).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Отклонение показателей микроклимата; недостаточная освещенность рабочей зоны; превышение уровня шума; психофизиологическое воздействие на организм человека; повышенная напряженность электрического поля.
3. Экологическая безопасность:	Воздействие на окружающую среду: выделение углекислого газа, сажи, окислов азота; загрязнение гидросферы сточными водами.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Поражение электрическим током; пожаровзрывоопасность.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Кропотова Светлана Сергеевна		

5 Социальная ответственность

Темой дипломного проекта является разработка автоматизированной системы тушения пожаров с применением разных по компонентному составу жидкостей.

Система применяется для тушения пожаров и предотвращения их возникновения на складах лесоматериалов. Разрабатываемая автоматизированная система пожаротушения является более эффективным средством борьбы с пожарами на складах лесоматериалов по сравнению с существующими системами пожаротушения, где в качестве основной тушащей жидкости выступает вода [82]. Эффективность системы достигается за счет добавления к воде специализированных компонентов (как жидких, так и твердых) и тушения пожара эмульсиями и суспензиями на основе воды, за счет чего увеличивается площадь тушения и уменьшается время тушения, а также снижаются расходы воды [83–85].

Потенциальными потребителями данной системы являются предприятия деревообработки и лесопромышленные компании, специализирующиеся на обработке и хранении лесных горючих материалов. При этом необходимо отметить, что в связи с тем, что имеется возможность замены специализированных добавок к воде для создания огнетушащего состава, система является универсальной и может быть использована на складах различного назначения.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, воздействие которых возможно на оператора АСУ тушения, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работника, вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях. В ВКР разработана автоматизированная система тушения пожаров с применением разных по составу пожаротушащих жидкостей (эмульсий на основе пенообразователя и суспензий на основе твердых добавок (Бишофит)). Для обеспечения работоспособности системы

необходим оператор, который осуществляет оперативное управление процессом пожаротушения. Деятельность оператора направлена на оценку и обработку поступающей информации. Особенности деятельности являются анализ поступающей информации, обнаружение неисправностей системы, анализ показаний приборов, быстрое принятие решений. Поэтому объектом исследования данного раздела является рабочее место оператора, которое реализовано на базе персонального компьютера с цветным графическим монитором, на который выводится мнемосхема с параметрами системы пожаротушения.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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

В соответствии со статьей 5.27.1 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195–ФЗ (ред. от 03.04.2018) допуск работника к исполнению им трудовых обязанностей без прохождения в установленном порядке обучения и проверки знаний требований охраны труда, а также обязательных при поступлении на работу и в течение трудовой деятельности медицинских осмотров, обязательных медицинских осмотров в начале рабочего дня (смены), обязательных психиатрических освидетельствований или при наличии медицинских противопоказаний влечет наложение административного штрафа на должностных лиц в размере от пятнадцати тысяч до двадцати пяти тысяч рублей. Поэтому оператор обязан пройти вводный инструктаж при приеме на

работу, первичный инструктаж, который проводится на рабочем месте перед тем, как сотрудник начинает самостоятельную работу, а также повторные инструктажи по охране труда, которые проводятся минимум раз в 6 месяцев. Перед поступлением на работу оператору необходимо пройти медицинский осмотр за счет организации. Согласно требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 женщины со времени установления беременности переводятся на работы, не связанные с использованием ПК, или для них ограничивается время работы с ПК (не более 3 ч за рабочую смену).

Порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ).

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: проведение своевременной оплаты налогов, выплаты заработной платы.

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

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

предприятие. Под специальными правовыми нормами трудового законодательства понимаются права сотрудников предприятия. Сотрудник имеет право на рабочее место, на обучение безопасным приемам и методам труда. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны подразумевают, совокупность мер для обеспечения комфортной работы сотрудника. Законодательством предусмотрен ГОСТ 12.2.032-78, который полностью описывает каким правилам и нормам должно соответствовать рабочее место [86].

Правильная организация рабочего места оператора АСУ позволит снять напряжённость в работе, уменьшить неблагоприятные чрезмерные нагрузки на организм и, как следствие, повысить производительность труда [87].

При организации рабочего места оператора следует выполнять требования эргономики. К эргономическим показателям трудового процесса относятся:

- гигиенические показатели: температура и влажность воздуха, состав воздуха рабочей зоны, освещенность рабочего места, шум и т. д.;
- антропометрические показатели, определяющие размеры тела человека и соответствующие им размеры, формы рабочих мест, органов управления и инструментов;
- физиологические показатели, которые определяют соответствие выполняемых человеком трудовых операций энергетическим, слуховым, зрительным и другим физиологическим возможностям человека.

В ходе конструирования и размещения рабочих мест необходимо предусмотреть меры, которые предупреждают или снижают преждевременное утомление, предотвращают возникновение психофизиологического стресса, а также ошибочных действий.

При планировке рабочего места оператора АСУ, необходимо учитывать следующее:

- проход слева, справа и спереди от стола должен составлять 500 мм;

- расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии 600...700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитноцифровых знаков и символов;
- корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики;
- конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;
- все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

5.2. Производственная безопасность

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, воздействующие на оператора АСУ пожаротушения. Перечень опасных и вредных факторов (ГОСТ 12.0.003–2015), характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Опасные и вредные фактора при работе оператора АСУ ТП

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 2.2.4.548 – 96 [88]. 2. СП 52.13330.2011 [89], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [90], СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [91]. 3. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [92]. 4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [93]. 5. ГОСТ 12.1.038–82 [94]. 6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123 [95].
2. Превышение уровня шума	+	+	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
4. Психофизиологическое воздействие на организм человека	+	+	+	
5. Повышенная напряженность электрического поля	+	+	+	

К опасным производственным факторам относятся факторы, воздействие которых на работника в определенных условиях приводят к травме. К вредным производственным факторам относятся факторы, воздействие которых на работника в определенных условиях приводят к заболеванию или снижению работоспособности работающего.

5.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Согласно требованиям СанПиН 2.2.4–548–96 [88], необходимо соблюдать оптимальные величины показателей микроклимата в производственных помещениях, где выполняются работы операторского типа, связанные с нервно–эмоциональным напряжением (на пультах и постах управления технологическими процессами).

Показатели микроклимата бывают допустимые и оптимальные. Под воздействием допустимых значений показателей микроклимата работник может ощущать небольшой дискомфорт, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Ухудшение состояния здоровья при этом не возникает.

При оптимальных микроклиматических условиях обеспечивается сохранение нормального функционального и теплового состояния организма, создаются предпосылки для высокого уровня трудоспособности. К показателям, характеризующим микроклимат в производственных помещениях, относятся температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения. В таблице 5.2.1.1 представлены допустимые и оптимальные значения показателей микроклимата для теплого периода года (плюс 10 °С и выше) и для холодного периода года для категории работ 1а (работа оператора) [88].

Таблица 5.2.1.1 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата для категории 1а

Параметр	Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Оптимальный параметр микроклимата	Холодный	22...24	21...25	40...60	0,1
	Теплый	23...25	22...26	40...60	0,1
Допустимый параметр микроклимата	Холодный	20...21,9 24,1...25	19...26	15...75	0,1
	Теплый	21...22,9 25,1...28	20...29	15...75	

Для поддержания определенных параметров в помещении могут применяться такие технические средства как кондиционеры или обогреватели. Они способны поддерживать определенное значение температуры обеспечить значение влажности в пределах от 40 % до 60 %.

5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение представляет собой важный фактор производственной среды, который оказывает существенное влияние на оператора и на эффективность его трудового процесса и безопасность труда. Недостаточное освещение рабочего места оператора затрудняет выполнение работы, вызывает повышенное утомление, что влечет за собой снижение производительности труда и увеличивает риск производственного травматизма. Нормативные требования к освещению приведены в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий» [85] и СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [89].

Согласно действующим санитарным правилам [89] постоянное наблюдение за ходом технологического процесса относится в VIII разряду (подразряд – а) зрительных работ, при котором искусственное освещение в помещении пульта управления должно осуществляться системой общего освещения или комбинированного освещения (освещенность от общего

освещения – 200 лк). Общее освещение может быть равномерным и локализованным. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300...500 лк. При этом освещение не должно создавать бликов на поверхности монитора компьютера. Освещенность монитора не должна быть более 300 лк. Естественное освещение осуществляется через световые проемы в наружных стенах здания (окна) с коэффициентом естественного освещения КЕО 1,8 % и при совместном освещении с КЕО – 0,6 [89].

Освещение рабочего места оператора АСУ тушения достигается за счет комбинирования естественного и искусственного освещения. Образованное в результате взаимодействия прямого и отраженного света диффузное освещение помещений создает благоприятное распределение яркости, что не наносит вред зрению оператора. Освещение рабочего места оператора АСУ тушения соответствует требуемому уровню по Российским нормам в 200...300 лк (согласно СП 52.13330.2016).

5.2.3 Превышение уровня шума

Распространенным на производстве вредным фактором является шум. Он создается работающим оборудованием (исполнительными механизмами, насосами), преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами искусственного освещения, процессором, вентиляторами и блоком питания компьютера, а также шум, доносящийся с улицы. Шум ухудшает условия труда, оказывая воздействие не только на органы слуха, но и на весь организм человека в целом через центральную нервную систему. Шум ослабляет внимание и снижает реакцию оператора на происходящие события на технологическом объекте управления, вследствие чего увеличивается число ошибок при работе.

По санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [92] максимальный уровень звука на рабочем месте оператора не должен превышать 65 дБА. Снизить уровень шума на рабочем месте можно с помощью:

- изоляции источников шумов (использование звукопоглощающих строительных материалов);
- увеличение расстояния до источника шума;
- наличие у человека шумоизоляционных наушников.

5.2.4 Психофизиологическое воздействие на организм человека

Работа оператора в целом разнообразная при выполнении задач и монотонная в период несения дежурства. Сложность работы оператора пультов управления связана с высокой ответственностью и принятием решений в условиях дефицита времени. Поэтому у оператора во время работы могут возникать физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов. Перенапряжение органов зрения в большей степени вызвано работой за ПК. Монитор компьютера испускает излучение, оказывающее вредное воздействие на глаза человека. Согласно СанПиН 2.2.2. / 2.4. 1340-03 расстояние от глаз до монитора должно быть от 60 до 70 см.

С целью предупреждения преждевременной утомляемости оператору следует делать перерывы на 10...15 минут через каждые 45...60 минут. Во время перерывов для снижения нервного и эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора рекомендуется выполнять комплекс упражнений физкультурных минуток [93].

5.3 Повышенная напряженность электрического поля

Согласно ГОСТ 12.1.038–82 [94] предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме для постоянного тока – не более 0,8 В и 1 мА, для переменного тока (частота 50 Гц) – не более 2,0 В и 0,3 мА. Во избежание поражения тока оператору во время работы запрещается прикасаться к задней панели системного блока и переключать разъемы интерфейсных кабелей

периферийных устройств при включенном питании, производить отключение питания во время выполнения активной задачи, допускать попадание влаги на поверхности устройств. Помещение, в котором находится система приготовления эмульсий и суспензий, согласно правилам устройства электроустановок [95], относится к помещению с повышенной опасностью.

Это связано с наличием в разрабатываемой системе насосов, электрифицированных задвижек и другого электрооборудования, требующего особого внимания при его эксплуатации.

Для предотвращения возможности поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, корпуса приборов и инструментов заземляются, а также при работе возле объекта управления используются средства индивидуальной защиты [93]. Выбор и установку электрооборудования необходимо выполнять в соответствии с условиями окружающей среды.

Все работы по устранению неисправностей производятся квалифицированным персоналом.

5.4 Экологическая безопасность

5.4.1. Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду

В связи с тем, что разрабатываемая система пожаротушения подразумевает использование в качестве огнетушащих составов эмульсий и суспензия на основе воды, есть риск утечки таких веществ (пенообразователей и смачивателей) из емкостей, в которых они хранятся, трубопроводов и других сооружений. В связи с этим загрязнение гидросферы возможно в результате попадания таких утечек в водные объекты. Действие пенообразователя на воду состоит в следующем: у воды появляется вязущий вкус, уменьшается

прозрачность, увеличивается способность к пенообразованию, понижается концентрация кислорода, угнетается рост микроорганизмов.

Воздействие на атмосферу возможно в результате испарения эмульсий, суспензий или их компонентов, которые хранятся в закрытых емкостях на предприятии. Однако данное воздействие на атмосферный воздух незначительное. Источником вредных газовыделений может стать утечка рабочей жидкости из термостата или прорыв трубопровода в результате коррозии или дефекта монтажа для приготовления эмульсий и суспензий. В этом случае производится механическая очистка загрязненного участка. Образующиеся отходы собираются и временно хранятся на территории предприятия в емкостях, контейнерах или на специально отведенных и оборудованных площадках, в соответствии с утвержденными инструкциями по обращению с опасными отходами.

5.4.2. Решения по обеспечению экологической безопасности

В целях рационального использования и охраны поверхностных вод предприятие должно обеспечить предотвращение попадания специализированных огнетушащих добавок на территорию производственной площадки промышленного объекта и непосредственно в водные объекты.

Для исключения возможности загрязнения окружающей среды жидкими продуктами предусматривают применение оборудования и трубопроводов, стойких к коррозионному и абразивному воздействию агрессивных жидких сред.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние баков компонентов пожаротушающих составов на наличие протечек и повреждений путем осмотра их персоналом. Во избежание нарушений противопожарных правил на производстве необходимо проводить инструктаж и воспитательные работы с персоналом, вводить систему наказаний и штрафов за подобного рода нарушения.

Немаловажным является продуманная утилизация неисправного и устаревшего оборудования или деталей установки для исключения вредного воздействия на литосферу. Утилизация электрооборудования производится в специализированных компаниях. Так же необходимо производить периодический осмотр электромеханического оборудования. Этим можно добиться более продолжительной и безопасной работы оборудования.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала во время чрезвычайных ситуаций (землетрясения, наводнения, химического или радиоактивного заражения), являются: укрытие людей в защитных сооружениях, проведение эвакуационных мероприятий, использование средств индивидуальной защиты, организация медицинской помощи пострадавшим [96].

5.5.1 Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения

При работе системы пожаротушения эмульсиями и суспензиями могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации – воспламенение изоляции электрической сети от короткого замыкания и перегрузки. При установке оборудования автоматизации, особое требование предъявляется к качеству монтажа технических средств. Особенно при установке оборудования для производства эмульсий или суспензий, в состав которых входят горючие жидкости. Некачественный монтаж термостатов, трубопроводов, задвижек, расходомеров и других приборов может привести к утечке горючего топлива, что может стать причиной возгорания. Поэтому монтаж оборудования должны производить квалифицированные специалисты [94]. Также на данной АСУ есть опасность поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

5.5.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС

Для предупреждения поражения электрическим током корпуса приборов и инструментов заземляются, также при работе возле объекта управления используются средства индивидуальной защиты [94]. Для предотвращения возгораний помещение, где размещена система для приготовления эмульсий и суспензий, и рабочее место оператора должны быть оборудованы средствами пожаротушения (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи. В операторской должны находиться: порошковый огнетушитель типа ОП–5, план эвакуации при пожаре (рисунок 5.5.2.1) и в доступном месте – пожарный щит.



Рисунок 5.5.2.1 – План эвакуации

Если возгорание произошло в действующей электроустановке, для его устранения должны использоваться углекислотные огнетушители типа ОУ–2 или порошковые типа ОП–5.

В соответствии с СНиП 21-01-97 [97] администрацией здания должны быть разработаны противопожарные мероприятия, для проведения которых необходимо: обеспечить условия безопасности людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения; к работе допускать персонал только после инструктажа; в каждом рабочем помещении разместить таблички с номером вызова пожарной охраны;

регламентировать порядок проведения пожароопасных работ, осмотра и закрытия помещений, действий коллектива при возникновении пожара. Назначить ответственного за инструктирование и проведение занятий по противопожарной безопасности; утвердить и повесить на видном месте план/схему эвакуации.

В разделе «Социальная ответственность» магистерской диссертации:

- проанализированы вредные и опасные факторы, воздействие которых возможно на оператора и уровень которых не должен превышать предельных значений, оговоренных правовыми и санитарно–техническими нормами;
- отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работника;
- проанализированы вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях и меры для их предупреждения.

Заключение

В рамках магистерской диссертации разработана автоматизированная система тушения пожаров с применением полидисперсных жидкостных аэрозолей. Выполнены основные стадии проектирования и конструирования. Проведен анализ объекта автоматизации. Сформированы требования к АСПТ. Выбрана структура системы, разработана функциональная схема. Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень включает датчики измерения вязкости, уровня, расхода, пожарные извещатели, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается контроллер, на верхнем уровне – АРМ оператора.

Исходя из требований к разрабатываемой системе проведен выбор технических средств автоматизации, на основе которого составлена заказная спецификация. Выбор ТСА проведен с использованием каталогов и сайтов производителей. Разработаны принципиальная электрическая, монтажная схемы и чертеж общего вида щитовой конструкции системы пожаротушения с описанием основных этапов процесса разработки. Разработаны фрагменты математического и программного обеспечения с описанием алгоритмов функционирования системы. Проведена разработка мнемосхемы SCADA – системы.

Проведены экспериментальные исследование теплофизических и термокинетических характеристик ЛГМ. Полученные экспериментальным путем значения таких характеристик важны для адекватного моделирования подавления пламенного горения и термического разложения ЛГМ, моделирования динамики пожаров, а также разработки алгоритмов работы средств пожарной автоматики. Результаты научных исследований использованы для обоснованного выбора наиболее эффективной тушащей смеси на основе суспензий, эмульсий и воды без примесей. Получена база данных теплофизических и термокинетических характеристик наиболее типичного ЛГМ. Измерение характеристик проводилось с использованием

современного высокоточного оборудования (прибор для измерения теплофизических характеристик DLF-1200 TA Instruments с ПО FlashLine и прибор для термического анализа NETCH). Проведены экспериментальные исследования влияния специализированных добавок к воде на эффективность подавления термического разложения ЛГМ, по результатам которых сделан вывод об эффективности применения данных добавок при тушении пожаров.

Преимуществом разработанной автоматизированной системы является повышение эффективности тушения и скорости локализации пожаров на складах лесоматериалов. Автоматизация позволит уменьшить вред от эксплуатации системы на рабочий персонал. Разработанная АСУ тушения является альтернативой системой, которая в зависимости от интенсивности возгорания и природы горючего вещества обеспечивает тушение возгорания наиболее эффективным пожаротушающим составом. Выбранные в разрабатываемой системе специализированные добавки к воде для приготовления пожаротушающего состава (пенообразователь и бишофит) не оказывают вредное влияние на природу и на человека.

Социальная роль разработанной АСУ процесса тушения пожара эмульсиями и суспензиями заключается в повышении эффективности тушения пожаров, уменьшении времен тушения и локализации возгораний на складах с горючими материалами.

Список публикаций студента

1. Kuznetsov G. V. , Kropotova (Kralinova) S. S. , Voytkov I. S. , Islamova A. G. Rates of high-temperature evaporation of promising fire-extinguishing liquid droplets // Applied Sciences . - 2019 - Vol. 9 - №. 23, Article number 5190. - p. 1-21. doi: 10.3390/app9235190.
2. Kuznetsov, G.V., Kropotova (Kralinova) S. S. , Islamova, A.G., Romanov, D.S. Influence of forest fuel structure on thermophysical characteristics // Powder Technology. – 2020 - Vol. 36 - №. 15, pp. 832–839.
3. Demidovich A.V., Kropotova S.S., Piskunov M.V., Shlegel N.E., Vysokomornaya O.V. The Impact of Single- and Multicomponent Liquid Drops on a Heated Wall: Child Droplets // Applied Sciences– 2020 - Vol. 36 - №. 10, pp. 942.
4. Demidovich A. V. , Kropotova (Kralinova) S. S. , Tkachenko P. P. , Shlegel N. E. , Volkov R. S. Interaction of Liquid Droplets in Gas and Vapor Flows // Energies. - 2019 - Vol. 12, Article number 4256. - p. 1-24. doi: 10.3390/en12224256.
5. Kuznetsov G. V. , Voytkov I. S. , Kropotova (Kralinova) S. S. , Atroshenko (Krivoguzova) Y. K. Heat transfer and phase transformations in the localization of forest fuel combustion // Interfacial Phenomena and Heat Transfer. - 2019 - Vol. 7 - №. 2, Special Issue. - p. 167-195. doi: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2019031564.
6. Zhdanova A. O. , Kropotova (Kralinova) S. S. , Kuznetsov G. V. , Strizhak P. A. Thermophysical and Thermokinetic Characteristics of Forest Combustible Materials // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. - 2019 - Vol. 92 - №. 5. - p. 1355-1363. doi: 10.1007/s10891-019-02051-0.
7. Zhdanova A. O. , Kralinova S. S. , Nyashina G. S. Determination of thermophysical and thermokinetic characteristics of forest combustible materials // MATEC Web of Conferences . - 2018 - Vol. 194, Article number 01066. - p. 1-5.
8. Shlegel N. E. , Zhdanova A. O. , Kralinova S. S. , Voytkov I. S. Suppression of forest fuel thermal decomposition under the influence of liquid

aerosol and water droplets with additives // МАТЕС Web of Conferences . - 2017 - Vol. 141, Article number 01017. - p. 1-5.

9. Жданова А. О., Кропотова (Кралинова) С. С. , Кузнецов Г. В. , Стрижак П. А. Теплофизические и термокинетические характеристики лесных горючих материалов // Инженерно-физический журнал. - 2019 - Т. 92 - №. 5. - С. 2395-2403.

Список использованных источников

1. Doerr, S. H., & Santín, C. (2016). Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150345. doi:10.1098/rstb.2015.0345.
2. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Международная пожарная статистика международной ассоциации пожарно-спасательных служб // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – № 1. – С. 72–104.
3. Козаченко, М.А. Лесные пожары и борьба с ними: учеб. пособие / Сост.: к.с.-х.н. М.А. Козаченко; под общ. ред. Соловьёва Д.А.; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И.Вавилова». – Саратов, 2013 г. – 200 с. ISBN 978-5-7011-0762-3.
4. Korobeinichev O.P., Shmakov A.G., Shvartsberg V.M., Chernov A.A., Yakimov S.A., Koutsenogii K.P., Makarov V.I. Fire suppression by low-volatile chemically active fire suppressants using aerosol technology. *Fire Safety Journal*. 2012. Vol. 51. P. 102-109.
5. Antonov, D. V., Volkov, R. S., Voitkov, I. S., Zhdanova, A. O., & Kuznetsov, G. V. (2018). Influence of Special Additives in a Water Aerosol on the Suppression of a Forest Fire with it. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 91(5), 1250-1259. <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1855-3>.
6. Antonov D.V., Voytkov I.S., Volkov R.S., Zhdanova A.O., Kuznetsov G.V., Khasanov I.R., Shlegel N.E. Influence of specialized additives on the efficiency of localization of flame burning and thermal decomposition of forest fuel materials. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2018;27(9):5-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.18322/PVB.2018.27.09.5-16>.
7. Torzhkov, I.O.; Kushnir, E.A.; Konstantinov, A. V; Koroleva, T.S.; Efimov, S. V; Shkolnik, I.M. The economic consequences of future climate change in the forest sector of Russia. In *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; 2019; Vol. 226.

8. Han, Y.; Chen, Z.; Liu, H.; Nie, Z.; Tian, Y. Virtual reality oriented modeling and simulation of water-dropping from helicopter. In Proceedings of the ACM International Conference Proceeding Series; 2018; pp. 24–29.
9. Qureshi, S.; Altman, A. Studying fluid breakup and dispersion to predict aerial firefighting ground drop patterns. In Proceedings of the AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2018.
10. Magarvey, R.H.; Taylor, B.W. Free fall breakup of large drops. *J. Appl. Phys.* 1956, 27, 1129–1135.
11. Strizhak, P.A.; Volkov, R.S.; Zabelin, M.V.; Piskunov, M.V. Disintegration of large balls of water-based liquids in free fall through high-temperature gases. *At. Sprays* 2017, 27.
12. Girin, A.G. Drop deformation and acceleration: The effects of inertia in fragmentation. *At. Sprays* 2014, 24, 349–366.
13. Nakoryakov, V.E.; Kuznetsov, G.V.; Strizhak, P.A. Deformation of a water shell during free fall in air. *Dokl. Phys.* 2016, 61, 195–200.
14. С.М. Вонский, В.Б. Наумов, В.А. Жданко. Лесные пожары и способы их тушения. Методические рекомендации.
15. Zhdanova A. O. , Kropotova (Kralinova) S. S. , Kuznetsov G. V. , Strizhak P. A. Thermophysical and Thermokinetic Characteristics of Forest Combustible Materials // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. - 2019 - Vol. 92 - №. 5. - p. 1355-1363. doi: 10.1007/s10891-019-02051-0.
16. G. Penco, D. Barni, P. Michelato and C. Pagani, "Thermal properties measurements using laser flash technique at cryogenic temperature," PACS2001. Proceedings of the 2001 Particle Accelerator Conference (Cat. No.01CH37268), Chicago, IL, USA, 2001, pp. 1231-1233 vol.2.
17. W.J. Parker, R.J. Jenkins. A Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity, and Thermal Conductivity, U.S. Navy Report USNRDLTR-424, May 1960.

18. Corbin, S. F., & Turriff, D. M. (2012). Thermal Diffusivity by The Laser Flash Technique. Characterization of Materials. doi:10.1002/0471266965.com102.pub2.
19. Vozár, L., & Hohenauer, W. (2003). Flash method of measuring the thermal diffusivity. A review.
20. Fernández, J. M., Plante, A. F., Leifeld, J., & Rasmussen, C. (2012). Methodological considerations for using thermal analysis in the characterization of soil organic matter. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 104(1), 389–398. doi:10.1007/s10973-010-1145-6.
21. Filkov, A., Simeoni, A., & Isaev, Y. (2015). Drying Kinetics of the Selected Grass Fuels under Isothermal Condition. *Advanced Materials Research*, 1085, 345–350. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.1085.345.
22. Бухаркина Т.В., Дигуров Н.Г. Основы построения кинетических моделей. Учеб. Пособие. Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1999.
23. Eritsov A. M., Gusev V. G. Technological Improvements in Using Control Lines in Fighting Forest Fires in Areal Application Zones. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2016. No 1(29). Pp. 42-56.
24. Арцыбашев, Е.С. Разработка огнетушащих составов на основе природного сырья и технологических отходов минеральных удобрений / Е.С. Арцыбашев [и др.] // *Борьба с лесными пожарами: Сб. науч. тр. / Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства. – СПб., 1998. – С. 60–68.*
25. N.D. Gutsev, N.V. Mihailova, N.A. Grabezheva. The study of wetting of forest combustible materials by solutions of wetting agents and foamers // *Proceedings of the Saint-Petersburg Forestry Research Institute, №3, 2015.*
26. V.V. Bogdanova, O.I. Kobets. Synthesis of flame retardants for wood and peat on the basis of natural minerals and their physico-chemical properties // *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, 2013.*

27. В.В. Терещнев, А.В. Подгрушный. Пожарная тактика: Основы тушения пожаров: учеб. пособие / В. В. Терещнев, А. В. Подгрушный. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 322 с.

28. Пешков В.В., Лебедев С.Ю., Кузьмин В.П. Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров: Инструкция. – М.: ВНИИПО, 1996. – 28 с.

29. Gutsev, N.D. & Mihailova, N.V. & Kuprin, G.N. & Kuprin, D.S. & Vinogradov, A. & Vinogradov, Vladimir. (2016). The results of laboratory investigations of the properties of fast-hardening foam to assess the possibility of its use to create firefighting foam strips. Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute. 14-27. 10.21178/2079-6080.2016.2.14.

30. Технические условия по проектированию установок пожаротушением оросителей тонкораспыленной воды [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://stopfire.ru/content/343/1038> (дата обращения: 11.09.2019).

31. Автоматизированная система управления пожаротушением (АСПТ) [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://www.nefteavtomatika.ru/security_production_systems/2 (дата обращения: 20.09.2019).

32. Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / Л. М. Мешман, С. Г. Цариченко, В. А. Былинкин, В. В. Алёшин, Р. Ю. Губин; Под общ. ред. Н. П. Копылова. - М.: ВНИИПО МЧС РФ, 2002. - 413 с.

33. СНиП 2.04.09-84. Пожарная автоматика зданий и сооружений. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 39 с.

34. Собурь С.В. Установки автоматической пожарной сигнализации. Справочник. - М., “Спецтехника”. 1998г., 222 с.

35. РД 25.952-90. Системы автоматического пожаротушения, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Порядок разработки задания на проектирование. – Москва: Изд-во стандартов, 1991. – 12 с.

36. Поплавковый уровнемер OMUV 05-1. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://www.cis-automation.ru/production/datchiki_urovnya/omyuv-05-05-1-signalizator-urovnya-pereklyuchatel-urovnya-urovner (дата обращения: 12.10.2019).

37. Составной герконовый уровнемер ПМП-128. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://www.nppsensorm.ru/product/106> (дата обращения: 12.10.2019).

38. ЛМК 331 – компактный уровнемер агрессивных жидкостей в широком диапазоне. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/lmk-331 (дата обращения: 12.10.2019).

39. Датчики давления Метран М150. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-150-ru-ru> (дата обращения: 12.10.2019).

40. ПД200-ДИ модель 315 датчик избыточного давления общепромышленный. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://owen.ru/product/preobrazovateli_izbitochno_davleniya_owen_pd200_di_div (дата обращения: 12.10.2019).

41. Преобразователи давления. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://owen.ru/catalog/datchiki_preobrazovateli_davleniya/info/39 (дата обращения: 12.10.2019).

42. Расходомер Метран-150RFA. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.com/ru-ru/catalog/metran-150rfa-ru-ru> (дата обращения: 12.10.2019).

43. Blancett FloClean – турбинный металлический расходомер гигиенического типа. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://rusautomation.ru/rashodomery/blancett-floclean> (дата обращения: 12.10.2019).

44. SONOFLO SONO 3100 ультразвуковой расходомер. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Products/10020519> (дата обращения: 12.10.2019).

45. Расходомер-счетчик ультразвуковой ВЗЛЕТ МР (УРСВ-110 для вязких жидкостей). [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: http://vzljot.ru/catalogue/ultrazvukovoj_metod/vzlet_mr_ursv110_dlya_vyazkih_zhidkostej/ (дата обращения: 12.10.2019).

46. Ультразвуковой расходомер жидкостей. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://www.us800.ru/> (дата обращения: 12.10.2019).

47. Ультразвуковой расходомер QS200. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://darkont.ru/articles/ultrazvukovoy-raskhodommer-qs200-universalnoe-nedorogoe-reshenie-dlya-massovogo-ispolzovaniya/> (дата обращения: 12.10.2019).

48. Расходомер сыпучих материалов MF 3000. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://rusautomation.ru/rashodomery/mf-3000> (дата обращения: 12.10.2019).

49. DensFlow расходомер сыпучих материалов. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://rusautomation.ru/rashodommer-densflow> (дата обращения: 12.10.2019).

50. Расходомер SolidFlow. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://rusautomation.ru/rashodommer-solidflow> (дата обращения: 12.10.2019).

51. Вибратор OLI MVE 300/3. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://zzbo.ru/product/543-elektricheskiy-vibrator-oli-mve3003/> (дата обращения: 12.10.2019).

52. ИВ-06-25 – площадочный вибратор. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://vibromotors.ru/catalog/4pole-1/ploshchadochnye-vibratory-iv-06-25/> (дата обращения: 12.10.2019).

53. ПЧВ1 и ПЧВ2 преобразователь частоты. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://owen.ru/product/preobrazovatel_chastoti_oven_pchv1_i_pchv2 (дата обращения: 12.10.2019).

54. Вилочные вискозиметры Micro Motion FVM. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/data-sheet-преобразователи-вязкости> (дата обращения: 12.10.2019).

55. Датчик вязкости компании SenGenuity. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://kit-e.ru/news/radiocomp_04_03_13.php (дата обращения: 12.10.2019).

56. ВВН-8 вискозиметр вибрационный низкочастотный. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://td-automatika.ru/upload/iblock/0bb/b41185db-a6c0-11e0-94b2-0030486527a0_da1f14ae-df4b-11e4-b613-0030486527a0.pdf (дата обращения: 12.10.2019).

57. Термометры сопротивления ТСМ 012, ТСП 012. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/43587-10-tsm-012-tsp-012-45762> (дата обращения: 12.10.2019).

58. Термопреобразователи сопротивления Метран-2000-100П/Pt100/50М-Н10-У1. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://xn--90ahjlpcccjdm.xn--p1ai/catalog/metran-2000-100p-50m-v-4-a03-n10-u1-1-termopreobrazovatel-soprotivleniya/> (дата обращения: 12.10.2019).

59. Сертификация термопреобразователей ТСМУ(ТСПУ)014 ИНД. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: http://termopribor.msk.ru/news.php?news_id=1&SID (дата обращения: 12.10.2019).

60. Извещатель пламени ИПЭС-ИКМ. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://electronstandart-pribor.com/ru/produksiya/izveshchatel-plameni-ipes-ikm> (дата обращения: 12.10.2019).

61. Взрывозащищённый извещатель пламени серии Спектрон-600-EXD. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://spectron-ops.ru/products/izveshateli-plameni/vzryvozashchishchenny-izveshchatel-plameni-serii-spektron-600-exd> (дата обращения: 12.10.2019).

62. Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный ИПДЭС. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://electronstandart-pribor.com/ru/produksiya/pozharnoe-oborudovanie/izveshchatel-pozharnyj-dymovoj-optiko-elektronnyj-ipdes> (дата обращения: 12.10.2019).

63. Извещатель пожарный ручной. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://www.tinko.ru/catalog/product/200092/> (дата обращения: 12.10.2019).

64. Взрывозащищенное устройство дистанционного пуска Спектрон-535-EXD-М/Н-УДП. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://spectron-ops.ru/products/udpandipr/vzryvozashchishchennoe-ustroystvo-distancionnogo-puska-spektron-535-exd-mn-udp> (дата обращения: 12.10.2019).

65. Насосы Abaque. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: https://pompa-shop.ru/catalog/peristalticheskie_nasosy/abaque/ (дата обращения: 12.10.2019).

66. Консольно моноблочные насосы Saer IR, MG2, NCBZ. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://ooo-vv.ru/konsolnye/konsolno-monoblochnye-nasosy-ir-mg2-ncbz.html> (дата обращения: 12.10.2019).

67. МEGACPK (MCPK) – насос для агрессивных химических жидкостей. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://hysom.ru/catalog/pumps/megacpk-mcpk> (дата обращения: 12.10.2019).

68. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/59.pdf> (дата обращения: 12.10.2019).

69. Блок ручного управления БРУ–32. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: http://vtmarket.ru/bru-42,_bru-32,_bru-22_blok_ruchnog (дата обращения: 12.10.2019).

70. ПЛК73 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: http://www.owen.ru/uploads/rie_plk73_1122.pdf (дата обращения: 12.10.2019).

71. Система автоматизации S7–300. Данные модулей. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: http://www.ste.ru/siemens/pdf/rus/S7_300_Modul_Data_p1_r.pdf (дата обращения: 12.10.2019).

72. ГОСТ 16442–80. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). – М.: Стандартинформ, 1982. – 24 с.

73. ГОСТ 1508–78 Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1980. – 15 с.

74. ГОСТ 10348–80 Кабели монтажные многожильные с пластмассовой изоляцией. Технические условия– М.: ИПК Издательство стандартов, 1982. – 9 с.

75. Кабель КИПЭВ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cable-set.com/kabel-kipev> свободный. – Загл. с экрана

76. Лаврищев И.Б., Кириков А.Ю., Добряков В.А. Разработка принципиальных электрических схем систем управления процессами пищевых производств: Метод. указания к практическим занятиям по курсовому проектированию для студентов спец. 210200 и направления 550200. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004. – с.

77. Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://elesy.ru/products/products/plc.aspx> (дата обращения: 13.12.2019).

78. Преобразователи измерительные разделительные - ЭлеСи [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: 2. 3. <https://elesy.ru/media/20082/%D0%B5%D1%82%20421-422.pdf> (дата обращения: 13.12.2019).

79. Блок БС-117. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: 2. 3. <https://elesy.ru/media/20082/%D0%B5%D1%82%20421-422.pdf> (дата обращения: 13.12.2019).

80. Штекерный модуль для защиты от перенапряжений - РТ 4X1-12AC-ST - 2838348 [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: 2. 3. <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?uri=rxc-oc-itemdetail:pid=2838348&library=ruru&tab=1> (дата обращения: 13.12.2019).
81. ГОСТ ГОСТ 21480-76. Система "Человек-машина". Мнемосхемы. Общие эргономические требования— М.: ИПК Издательство стандартов, 1982. – 9 с.
82. Автоматическая система пожаротушения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/plc/using/firefighting.aspx> свободный. – Загл. С экрана.
83. Антонов Д.В., Войтков И.С., Волков Р.С., Жданова А.О., Кузнецов Г.В., Хасанов И.Р., Шлегель Н.Е. Влияние специализированных добавок на эффективность локализации пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов // Пожаровзрывобезопасность. 2018. №9.
84. Н.Д. Гуцев, Н.В. Михайлова, Г.Н. Куприн, Д.С. Куприн, А.В. Виноградов, В.В. Виноградов. Результаты лабораторных исследований свойств быстротвердеющей пены с целью оценки возможности использования её для создания противопожарных пенных полос // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства №3, 2015.
85. Пешков В.В., Лебедев С.Ю., Кузьмин В.П. Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров: Инструкция. – М.: ВНИИПО, 1996. – 28 с.
86. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 11 с.
87. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. –39 с.

88. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. –М.; Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. –20 с.
89. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. –М.; Информационно-издательский центр Минздрава России, 2011. –74 с.
90. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. –М.; Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003. –28 с.
91. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ. – Москва: Изд. Деан, 2003. –56 с.
92. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. –М.; Информационно-издательский центр Минздрава России, 1996. –12 с.
93. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно–вычислительным машинам и организации работы. –М.; Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003. –55 с.
94. Правила устройства электроустановок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ruscable.ru/info/pue/pue7.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
95. Федеральный закон РФ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123–ФЗ (ред. от 29.07.2017).
96. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения. – М.; Москва : Изд. Стандартиформ, 2016. –11 с.
97. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Москва: Изд. Деан, 2007. – 21 с.

Приложение А

(обязательное)

Свойства огнетушащих растворов, суспензий и эмульсий

Наименование состава	Массовые концентрации примесей к воде	Свойства примесей и приготовленных огнетушащих составов	Способ прекращения горения	Нормативные документы
Вода	–	Плотность 998,2 кг/м ³ ; поверхностное натяжение 72,7·10 ⁻³ Н/м; динамическая вязкость 1,004·10 ⁻³ Па·с; температуропроводность 14,3·10 ⁻⁶ м ² /с; теплоемкость 4,183 кДж/(кг·К); теплопроводность 0,599 Вт/(м·К); время смачивания лесной подстилки более 24 ч [23]; огнетушащая эффективность (по отношению к древесине) 0,31 дм ³ /м ² [24]; интенсивность подачи 0,25...0,5 л/м ² с [25]; средняя способность удерживаться на ЛГМ 60,5 % [27]; огнезадерживающая способность: не обладает	Охлаждающий	–
Эмульсия (пенообразователь «Прогресс»)	1...5 %	Вязкость концентрата по кинематике при 20°С не выше 40 мм ² /с; плотность при 20 °С 1002...1187 кг/м ³ ; свойства 5 % раствора: динамическая вязкость 0,12 Па·с; поверхностное натяжение 17,3·10 ⁻³ Н/м; температуропроводность 12,9·10 ⁻⁶ м ² /с; теплоемкость 3,995 кДж/(кг·К); теплопроводность 0,695 Вт/(м·К); устойчивость пены 250 с; время смачивания ЛГМ 35 с [23]; скорость смачивания 0,03 г/с [26]; средняя способность удерживаться на ЛГМ 74,5 % [27]; огнезадерживающая способность: не обладает	Охлаждающий, изолирующий	ГОСТ 50588-2012
Суспензия бентонита	1...5 %	Первая группа огнезащитной эффективности; точка плавления >1250 °С; свойства 5 % раствора: плотность 1100 кг/м ³ ; поверхностное натяжение 68,5·10 ⁻³ Н/м; динамическая вязкость 24,3·10 ⁻³ Па·с; температуропроводность 5,44·10 ⁻⁴ м ² /с; теплоемкость 3,83 кДж/(кг·К); теплопроводность 0,704 Вт/(м·К); интенсивность подачи (древесина) 0,13...0,25 л/м ² с [25]; огнезадерживающая способность: обладает	Изолирующий	ГОСТ 16363, СНИП-21-03-2003

Окончание Приложения А
(обязательное)

Наименование состава	Массовые концентрации примесей к воде при тушении	Свойства примесей и приготовленных огнетушащих составов	Способ прекращения горения	Нормативные документы
Раствор бишофита	5...10 %	Первая группа огнезащитной эффективности; свойства 10 % раствора: теплопроводность 0,58 Вт/(м·К); теплоемкость 3,603 кДж/(кг·К); плотность 1081,49 кг/м ³ ; динамическая вязкость 1,015·10 ⁻³ Па·с; температура кипения 151,05 °С; поверхностное натяжение 75,8·10 ⁻³ Н/м; интенсивность подачи (древесина) 0,13...0,25 л/м ² с [25]; огнезадерживающая способность: обладает	Изолирующий	ГОСТ 7759-55, СНИП-21-03-2003 Патент № 2318012
Раствор ОС-5	5...15 %	Первая группа огнезащитной эффективности; свойства 10 % раствора: плотность 1099,1 кг/м ³ ; поверхностное натяжение 45·10 ⁻³ мН/м; динамическая вязкость 1,112·10 ⁻³ Па·с; температуропроводность 12,9·10 ⁻⁶ м ² /с; теплоемкость 3,853 кДж/(кг·К); теплопроводность 0,624 Вт/(м·К); огнетушащая эффективность (по отношению к древесине) 0,13 дм ³ /м ² [24]; средняя способность удерживаться на ЛГМ 54,7 % [27]; рекомендуемый расход 0,3...0,5 л/м ² ; огнезадерживающая способность: обладает	Изолирующий, Замедление испарения влаги, придание ЛГМ пожароустойчивости, ЛГМ приобретает антипиренные свойства	ТУ 6-18-61-88
Смачиватель СП-01	0,5 %	Плотность при 20 °С 1100 кг/м ³ ; кинетическая вязкость при 20 °С 100 мм ² /с; динамическая вязкость 0,11 Па·с; поверхностное натяжение 32·10 ⁻³ мН/м; время смачивания ЛГМ 48 с [23]; интенсивность подачи 0,05...0,1 дм ³ /м ² с; огнезадерживающая способность: не обладает	Охлаждающий	ГОСТ Р 50588-2012
Эмульсия пенообразователя (ПО-НСВ)	0,6 %	Плотность при 20 °С 1000...1100 кг/м ³ ; кинетическая вязкость при 20 °С 7,6 мм ² /с; поверхностное натяжение 29,3·10 ⁻³ мН/м [23], интенсивность подачи 0,08 дм ³ /м ² с; время смачивания ЛГМ 34 с [23], средняя способность удерживаться на ЛГМ 84 % [27]; огнезадерживающая способность: не обладает	Охлаждающий, изолирующий	ГОСТ Р 50588-2012

Приложение Б

(обязательное)

Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол-во, шт.
1	2	3	4
1а, 2а	Термопреобразователь сопротивления с унифицированным выходным сигналом погружаемый, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0,25$ %. Выходной сигнал 4 ... 20 мА. НСХ-100М, 100П, Pt100. Диапазон измерения: -40 ... +500 °С. Питание 24 В АО «Термоприбор», г. Москва	ТСМУ(ТСПУ)014 ИНД	2
3а, 4а	Датчик избыточного давления, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0,075$ %. Выходной сигнал 4 ... 20 мА. Диапазон измерений 0,097...13,8 МПа «Метран», г. Челябинск	Метран-150 АС ТГ	2
5а, 9а	Расходомер ультразвуковой, верхний предел измерения до 14,5 м ³ /ч, класс точности 1,5, выходной сигнал 4...20 мА. Питание 24 В «Эй-Си Электроник», г. Чебоксары	US-800-12	2
6а, 8а	Расходомер турбинный, выходной сигнал 4 ... 20 мА. Диапазон измерений 0,04...25 л/с. Предел допускаемой основной приведенной погрешности ± 1 % «РусАвтоматизация», г. Челябинск	Blancett FloClean	2
7а	Массовый расходомер сыпучих материалов, диапазон рабочих температур: -10... 45 °С. Выходной сигнал 4 ... 20 мА. Интерфейсы RS-485, RS-323. Диапазон измерений 0,001...10 т/ч. Предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0,5$ % «РусАвтоматизация» г. Челябинск	DensFlow	1
10а...12а	Поплавковый уровнемер, выходной сигнал 4 ... 20 мА. Диапазон измерений 0,75...25 м. Предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 0,01$ % «Сенсор», г. Пенза	ПМП-128	3
13а	Вибрационный вискозиметр, диапазон измерения вязкости 0...20 Па·с. Выходной сигнал 4...20 мА. Предел допускаемой основной приведенной погрешности 1 % от максимального значения шкалы. Питание 24 В. ООО «Эмерсон», г. Москва	FVM Micro Motion	1
		ФЮРА.421000.006 С01	
Исполнил	Кропотова С.С.	Стад	Лист
Проверил	Стрижак П.А.	ТРП	1
Проверил	Медведев В.В.		3
		ТПУ Группа	
		ИШЭ 5БМ82	
		Спецификация приборов и средств автоматизации	

Продолжение Приложения Б

(обязательное)

Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол-во, шт.
1	2	3	4
	Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК. В состав контроллера входят следующие блоки (модули):	ЭЛСИ-ТМК	1
	Процессорный модуль. Питание 24 В. АО «ЭлеСи» г. Томск.	ТС 711 А8	1
	Модуль ввода аналоговых сигналов ТА 715. Входные сигналы: 4...20 мА. Аналоговых входов: 24 Питание 24 В. АО «ЭлеСи» г. Томск.	ТА 715 24DC	1
	Модуль ввода/вывода аналоговых сигналов ТА 713. Входные/выходные сигналы: 4...20 мА. Аналоговых выходов: 8, аналоговых входов: 8. Питание 24 В. АО «ЭлеСи» г. Томск.	ТА 713 8I 8O DC	1
	Модуль ввода дискретных сигналов TD 711, количество входов: 32. Питание 24 В. АО «ЭлеСи» г. Томск.	TD 711 32I 024DC	1
	Модуль ввода дискретных сигналов TD 721, количество входов: 16. Питание 24 В. АО «ЭлеСи» г. Томск.	TD 721 16I 024DC	1
	Модуль вывода дискретных сигналов TD 712, количество выходов: 32. Питание 24 В. АО «ЭлеСи» г. Томск.	TD 712 32O 024DC	1
	Блок питания TP 712. Входное напряжение 24 В. АО «ЭлеСи» г. Томск.	TP 712 024 DC	1
	Коммуникационный модуль TN 713. Два гнезда RJ45. Скорость обмена данными 10/100 Мбит/с. Питание 24. АО «ЭлеСи» г. Томск.	TN 713 2 485	1
14д, 16д, 18д, 20д, 22д, 24д, 26 д	Блок ручного управления типа БРУ-42. Величина управляющего сигнала 24 В. ООО «ВиаТех», г. Ярославль.	БРУ-42-03	7
		ФЮРА.421000.006 С01	Лист 2
Изм.	Лист	Подп.	Дат

Приложение В

(Обязательное)

Мнемосхема системы пожаротушения

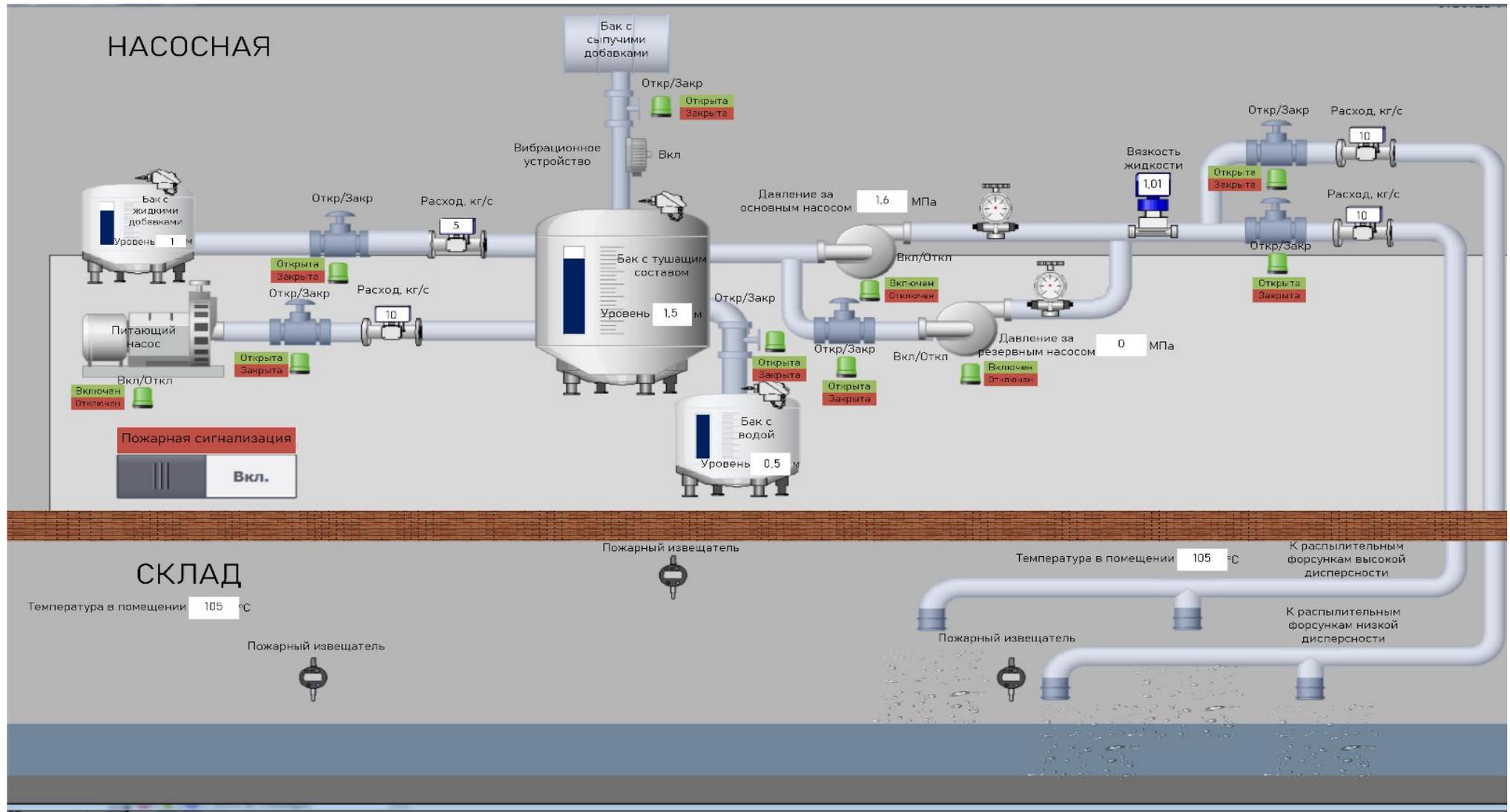


Рисунок В.1– Мнемосхема системы пожаротушения

Приложение Г

(Обязательное)

Диаграмма Ганта

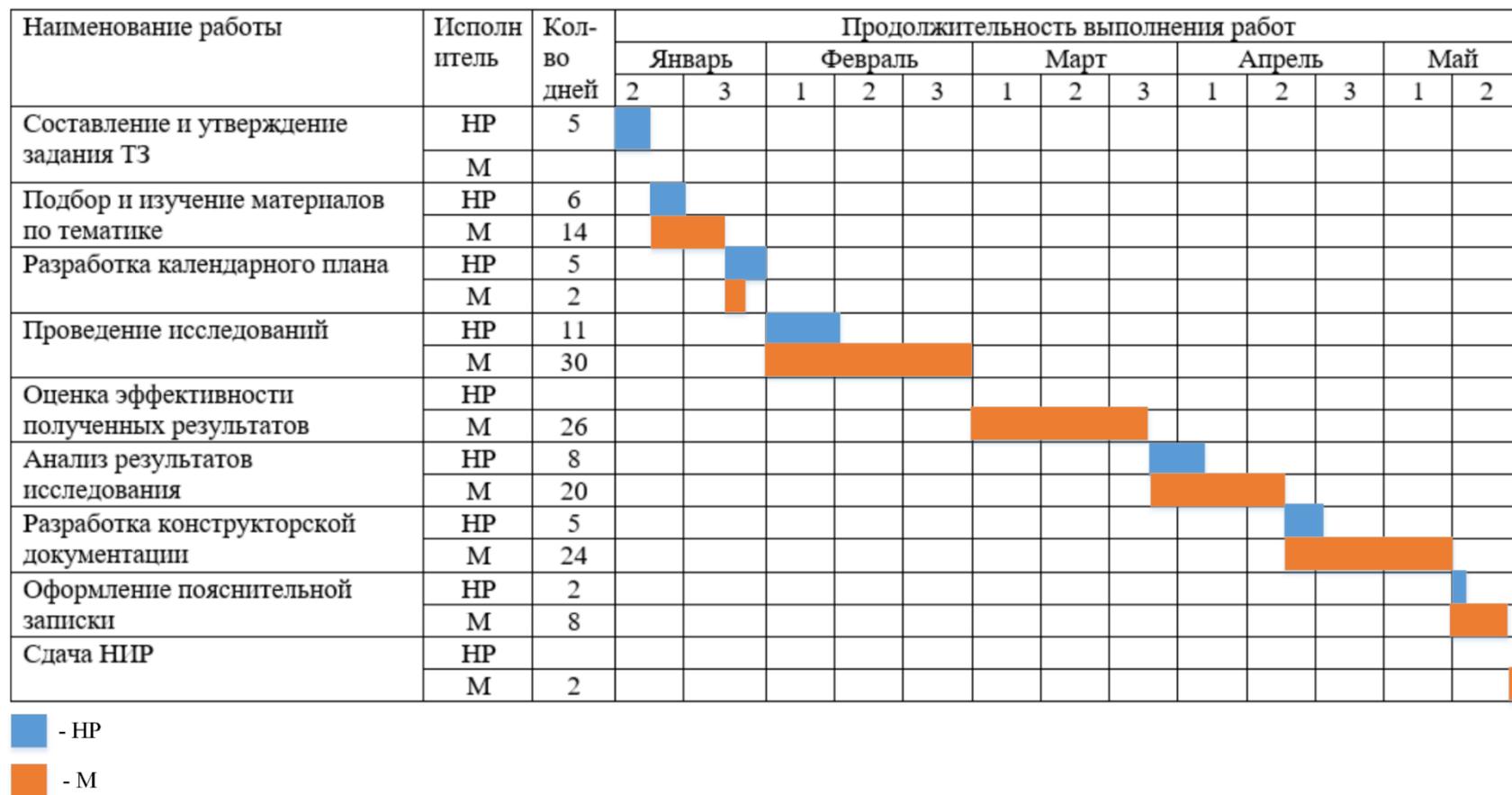


Рисунок Г.1 – Диаграмма Ганта

Приложение Д

Раздел (1)

Determination of thermophysical and thermokinetic characteristics of forest combustible materials and the choice of a type of fire extinguishing agent for it

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Кропотова Светлана Сергеевна		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШЭ:

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

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Костомаров Петр Иванович	к.ф.н.		

Introduction

Fire is one of the most spread emergency events in the world [1-3]. It has tremendous destructive effect and leads to the people death. According to statistical data [2], Russia heads the list of fire death rate. The major part of fires occurs at the most visited sites of boreal zone [1-3]: near human settlements, roads, objects of economic activity (timber manufacturing and stowage sites). The main cause of fires is human activity (about 90%). According to it, special attention is paid to fire safety at facilities with increased fire hazard (chemical, gas, oil, timber-manufacturing industries etc.). Each of these objects uses a large number of flammable and explosive substances and refers to the most fire-dangerous class.

Probability of fires at the timber stowage sites is the consequence of using flammable materials (e.g. commercially dry lumber, timber, chipped wood, filings, bark and wood-flake), and technological equipment. Untimely fire detection and suppression at such kind of objects leads to the huge material damage, threat to the personnel safety and unfriendly ecological effects.

One of the most common ways for decreasing the risk of fire is equipping units by modern, automatic, fire-extinguishing systems. Special interest is the solution of fire-extinguishing systems technical equipment issues and fire-suppression methods.

It should be noted that the tendency of applying fire-extinguishing method with water mist is increased recently [4]. It is related to the fact that water is the most spread, affordable, effective and cost-effective fire suppression tool.

Using the water as a fire-extinguishing tool requires high consumption. Water has some disadvantages, which may complicate suppression process: water high superficial tension and low efficiency of surface humidification.

Technological progress offers using of special additives as a problem solution. It may allow increasing fire-extinguishing efficiency, decreasing water consumption, and increasing the rate of fire suppression and the spread of fire [5, 6].

Suppression efficiency is achieved by expanding water capabilities and modifying it's properties. Wetting agents and surface-active materials decrease water

high superficial tension and allow split the volume of water into smaller drops. It increases forest combustible materials humidification and allow aqueous solution to form continuous layer on the flammable material surface in order to isolate it from atmospheric oxygen. Water additives choice is occurred according to defending objects and flammable materials characteristics, simplicity of extinguishing composition preparation, and economic considerations.

By now a wide base of special water additives is developed. These additives increase water viscosity and decrease it's superficial tension. Many works studying influence of component composition of extinguishing fluids on the efficiency of localization and extinguishing of forest fires are published [7-13]. The most common additives are different salts [11], surface-active materials, emulsifiers, bischofite and bentonite solutions. These components are easy to prepare, available and effective in fire extinguishing at fire hazard objects [8-12].

It should be noted that effective and quick fire extinguishing can be achieved in the case of a correctly selected extinguishing agent (extinguishing composition) and ensuring the necessary intensity and duration of spraying this composition into the fire source [14]. The choice of a fire extinguishing composition is based on its characteristics and properties, as well as the characteristics and properties of the combustible object (timber). In this connection, experimental determination of the thermophysical and thermokinetic characteristics of forest combustible material (FCM) is of particular interest. In the course of research, it is necessary to identify the main properties and characteristics of FCM for the selection of an effective fire extinguishing agent and use the results obtained in the development of an automated fire extinguishing system in a timber stowage.

1 Thermophysical and thermokinetic characteristics of forest fuel

1.1 Determination of thermophysical characteristics of forest fuel material

For our experimental investigations, we used forest combustible materials stored in forest combustible material stowage sites and forest fuel (FF) processing enterprises.

Such stowage sites may contain both processed wood (without bark, leaves, needles, etc.), as well as unprocessed timber.

That is why the most typical forest combustible materials such as wood, leaves, needles, mixtures of forest combustible materials were selected for the study from the most flammable and largest forests of the Siberian, Central, Southern, and Far Eastern Federal Districts of Russia

It should be noted, that there are different methods for determining the thermophysical characteristics (TFC) of materials such as GHP method (hot zone method), HFM (heat flux method), HWM (hot wire method) and laser-flash method.

Heat-measuring instruments and devices with a hot protection zone [15] can determine the thermophysical characteristics of fiber materials or vacuum insulation panels.

The laser flash method can determine the thermophysical characteristics of porous materials or materials with high thermal conductivity, metals or diamond composites. This method allows to obtain results that are more accurate.

The thermal conductivity in the HFM method is determined by measuring the electrical voltage, that is a function of the heat flux at a known temperature difference penetrating through a sample of a known thickness. The obtained voltage value used to calculate the heat flow rate. The thermal conductivity calculated from the heat flux rate.

HFM devices require regular calibration, which requires a calibration sample with a thermal conductivity close to the expected value of the studied samples.

Calibration should be performed at several points in the range of thermal conductivity of the sample due to the absence of a linear relationship between the measured voltage, thermal conductivity and thickness of the sample. That is why the calibration sample should also have a thickness close to thickness of the test sample. Calibration of the GHP device is not required, because the result is always the most accurate.

All these methods differ from each other by the type of material and measurement error, dimensions and geometry of the test samples.

In this study for measuring the thermophysical characteristics (thermal diffusivity, heat conductivity and heat capacity) of FF we used laser flash method.

More than forty years have passed since Parker and Jenkins [16], who work in the radiological protection laboratory of the US Navy, released their own technique, the measurements of which are based on the laser flash method. Since then, this photothermal experimental method has been the most popular method for measuring thermal diffusivity of solid material. Moreover, the measurement of thermal conductivity by laser-flash method takes less time than other methods.

Procedure of determining thermal conductivity by a laser-flash method using a NETZSCH firm device for studying solid and liquid material was described in [17, 18]. The results of trial tests of composite materials, illustrating the capabilities of this method and proving its effectiveness also presented in [17, 18].

For our experimental investigations we used the DLF-1200 TA Instruments system (fig. 1.1.1*a*).

The principle of DLF-1200 TA Instruments system action is based on the estimation of the velocity of propagation of a heat pulse in a material. This system made it possible to perform measurements at temperatures as high as 1500 K. The essence of the method is the uniform irradiation of one plane of a small disk-shaped sample with a short pulse of energy.

A solid-state optical sensor with an ultrafast response (fig. 1.1.1*b*) records the temperature-time dependence on the back surface. The thermal diffusivity is determined with the use of the obtained thermogram. This obtained value and the density of the sample allow to calculate the heat capacity and thermal conductivity of the sample. DLF-1200 TA Instruments system allows to determine the thermal diffusivity of a FF with an error of ± 2.3 %, its heat capacity with an error of ± 4 %, and the heat conductivity of the material with an error of ± 5 %.

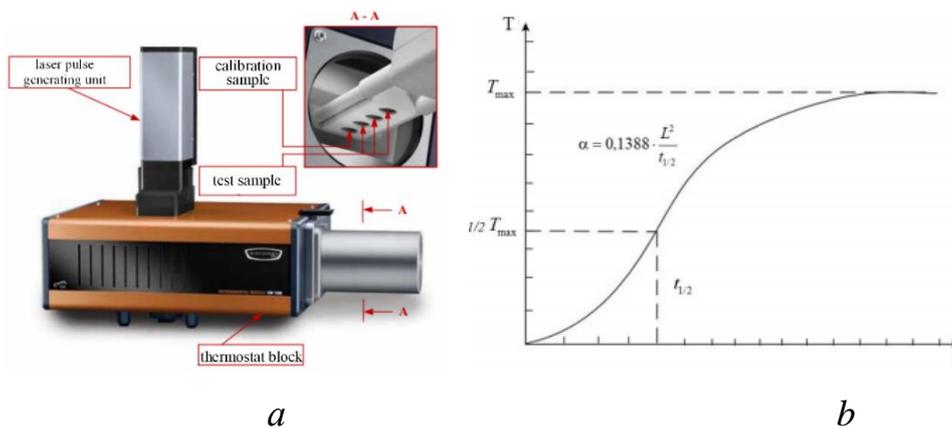


Figure 1.1.1 – The scheme of the DLF-1200 TA Instruments system (a); dependence of the temperature of the back surface of the sample on the time interval (b)

Samples of FF were prepared in several stages. On the first stage a FF was powdered in a Pulverisette-14 rotor-type mill operating with a rotary speed of 6000...20000 rpm and average size of the FF particles 200 μm . FF powders had a weight of 0.2...0.25 g. On the next stage FF powders were compressed using a hydraulic press. The sizes of these tablets corresponded to the requirements of the measuring system used, and they were not larger than 12.5 mm in diameter and 3 mm in height. The working space of the thermostat was filled with an inert gas (nitrogen) in order to cool the temperature sensor.

The measurements were performed with the use of a calibration sample, which was positioned in the thermostat simultaneously with FF samples. The mass, height, diameter and density of the FF samples were determined and entered into the system software. The diameter of the tablet were measured by a micrometer (systematic error of 0.005 mm). The mass of FF samples was determined using a Pioneer PA114 analytical balance with a systematic error of 0.00005 g. Five measurements were performed for each FF sample. The results of these measurements were averaged.

1.2 Determination of thermokinetic characteristics of forest fuel material

The thermokinetic characteristics of forest combustible materials were investigated using methods of thermogravimetric analysis, differential thermal

analysis, and differential scanning calorimetry [19, 20]. The experiments were performed with the use of a synchronous thermal analyzer NETZSCH STA 449F3 with a wide temperature range (-150 °C...2400 °C) and allowing to analyze the properties of a FF material in inert and oxidation media. The scheme of an experimental research is presented in fig. 1.2.1*b*. The experiments were carried out under the following conditions: mass of FF samples 25 mg, heated rate 10 K/min, heating temperature 300...1270 K in argon and oxygen flows, gas consumption 100 mL/min.

The kinetic parameters of the pyrolysis of a forest fuel material (the activation energy of its thermal decomposition and the pre-exponential factor in the Arrhenius equation defining this process) were calculated by the method described in [21]. It was assumed that the initial material *A* sequentially decomposes, forming an intermediate solid product *B* and a volatile product *P*₁. Then, product *B* proceeds to the next intermediate product *C*, releasing volatile product *P*₂ and so on (fig.1.2.1*b*).

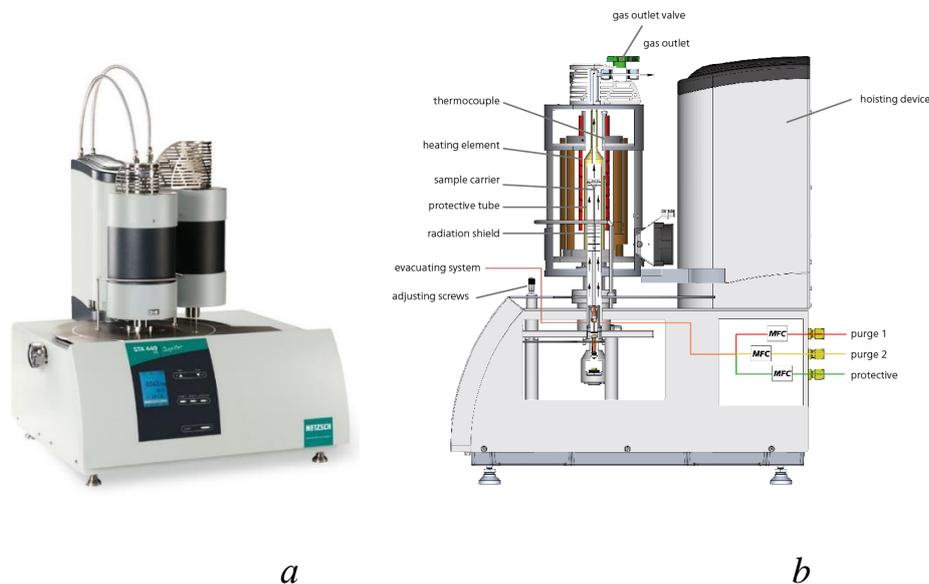


Figure 1.2.1 – The scheme of the system for determining the thermokinetic characteristics of materials: *a* – synchronous thermal analyzer NETZSCH STA 449F3, *b* – experimental scheme

The kinetic curve of the release of volatile substances from the material consisted of two S-shaped sections (fig 1.2.2). This is due to the fact that on the first stage

according to the Arrhenius equation, the rate of destruction of the material increased, after which it decreased due to decomposition of the material.

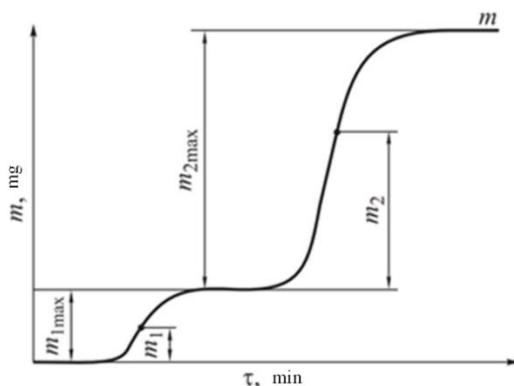


Figure 1.2.2 – Thermal degradation of material

Each stage has its own kinetic parameters, which were calculated using the Arrhenius equation:

$$K = k \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

Figure 1.2.3 shows typical thermogravimetric curves in an inert atmosphere for pine needles. There are two mass loss maxima on the mass loss velocity curves: the main “low temperature” mass loss peak associated with the decomposition of the organic mass of the FF and the formation of volatile substances and the “high temperature” peak of mass loss.

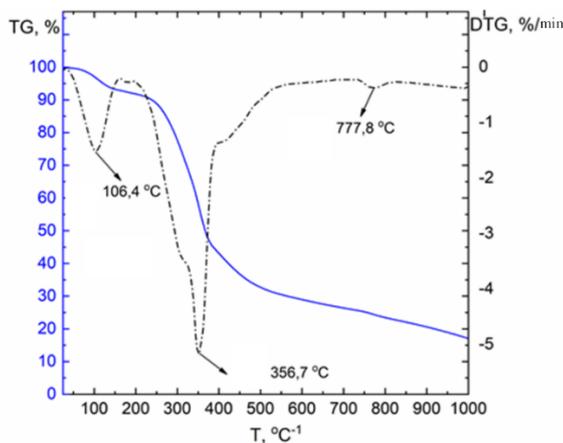


Figure 1.2.3 – Thermogravimetric mass loss and mass loss rate curves for needle samples

On the next stage the data of the thermogravimetric analysis are linearized in

coordinates $\ln \frac{\frac{dm_i}{d\tau}}{m_{i_{\max}} - m_i} - 1000/T$ (fig. 1.2.4).

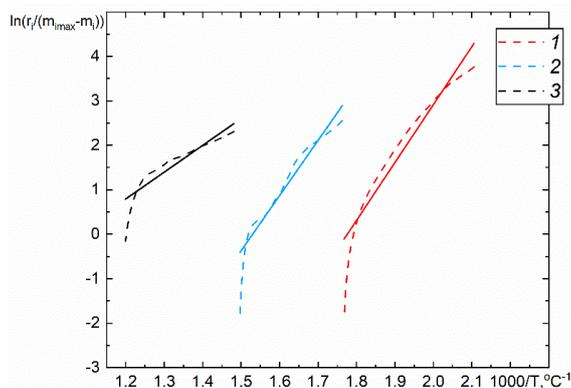


Figure 1.2.4 – Linearization of temperature dependence of mass loss rate of pine needles

Kinetic constants were determined graphically ($\ln(k)=f(1/T)$). Here k – mass loss rate of FF material, T –temperature. The activation energy was determined from the equation by the angle of inclination of the corresponding straight line, and the value of the preexponential factor was determined by the point of intersection of the straight line with the vertical axis.

1.3 Results of an experimental research

The thermophysical parameters of the forest combustible materials are presented in table 1.3.1. The measurements were performed at temperatures corresponding to the real conditions under which the thermal decomposition of the FF material begins (298...423 K).

Fig 1.3.6 shows experimental data obtained for the heat capacity and thermal conductivity of the forest fuel material.

We can see a significant increase in a heat capacity with an increase in temperature for all types of FF material.

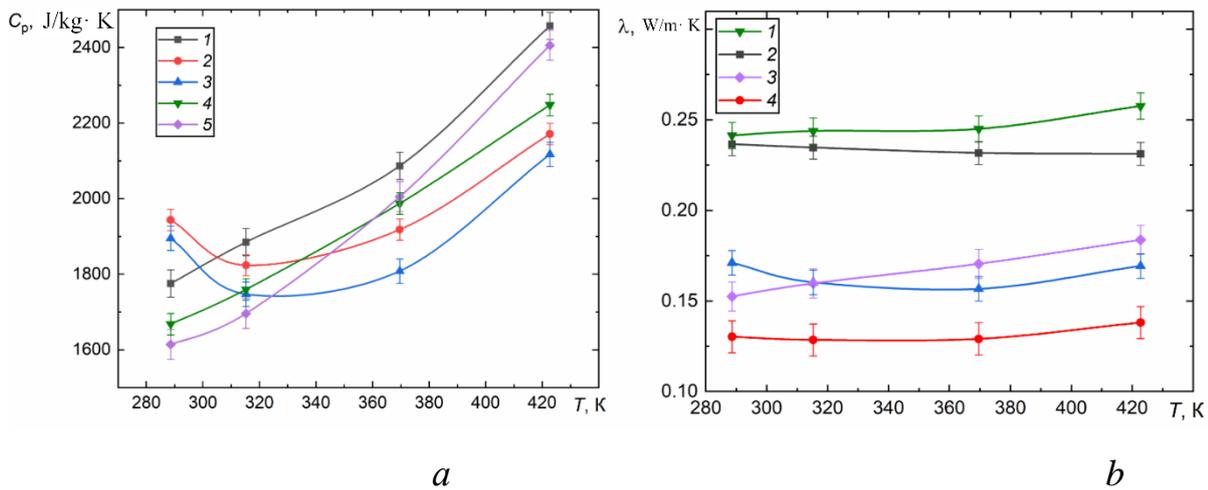


Figure 1.3.1 – Heat capacity (*a*) and thermal conductivity (*b*) of FF material: 1– pine needles, 2 – aspen leaves, 3 – cones, 4 – birch branches, 5 – bark

It can be noted (figure 1.3.1*b*) that for needles and leaves the values of thermal conductivity are maximum. Slightly lower values are noted for cones and bark and the smallest value corresponds to branches.

Table 1.3.1 – Thermophysical characteristics of FF

	FF material	Parameters (25...150 °C)		
		λ , W/(m·K)	C_p , J/(kg·K)	α , cm ² /s
Siberian FD	Pine needles	0,35...1,18	1618...2409	0,0008...0,0007
	Birch leaves	0,22...0,23	1856...2651	—
	Mixture of birch (50 %) and pine (50 %) twigs	0,15...0,16	1546,5...2410,06	0,0011...0,0008
	Birch bark	0,12...0,14	1774...2173	0,001...0,0007
Ural FD	Maple leaves	0,236...0,245	1791,5...2350,38	0,0015...0,0012
	Linden leaves	0,236...0,246	1799,73...2243,55	0,0014...0,0011
	Aspen leaves	0,24...0,25	1663...2237,9	0,0017...0,0014
	Mixture of juniper (25 %) and pine (35 %) twigs and aspen (15 %) and mountain (25 %) leaves	0,236...0,221	1790,13...2179,83	0,0026
South FD	Mixture of hazel (50%), poplar (35%), and willow (15%) leaves	0,24...0,21	1987,26...2260,71	0,0016...0,0012
	Mixture of hazel (50 %), poplar (35 %), and willow (15 %) leaves	0,25...0,24	1622,13...2105,7	0,002...0,0016
Far Eastern FD	Birch twigs	0,236...0,231	1779,33...2448,33	0,0018...0,0013

	Birch bar	0,3...0,25	1862,6...2441,8	0,002...0,0012
	Mixture of spruce (60 %) and alder (40 %) twigs	0,243...0,266	1520,23...2157,73	0,0022...0,0018

From the analysis of the experimental results, the following conclusions can be drawn. There is a significant increase in heat capacity with temperature increasing for all FF materials. However, the thermal conductivity of forest fuel materials varies slightly with temperature increasing.

Thermokinetic characteristics of fuel materials are presented in tables 1.3.2 and 1.3.3. The measurements were carried out in the temperature ranges of 430...540 K, 540...630 K, and 630...840 K in inert and oxidizing atmospheres.

Table 1.3.2 – Thermokinetic characteristics of the pyrolysis of forest combustible materials in an inert atmosphere

Location	FF material	E , kJ/mole	k , 1/s	E , kJ/mole	k , 1/s	E , kJ/mole	k , 1/s
		Temperature range, K					
		430...540		540...630		630...840	
Siberian FD	Birch leaves	102,36	$2,93 \cdot 10^9$	74,61	$8,55 \cdot 10^5$	49,46	$8,52 \cdot 10^2$
	Pine needles	91,57	$1,81 \cdot 10^6$	80,91	$2,06 \cdot 10^6$	50,6	$2,96 \cdot 10^1$
	Twigs	87,24	$3,13 \cdot 10^8$	115,67	$2,04 \cdot 10^{12}$	21,39	$5,44 \cdot 10^0$
	Bark	108,66	$8,86 \cdot 10^7$	151,20	$3,32 \cdot 10^9$	26,73	$1,04 \cdot 10^1$
Ural FD	Mixture of juniper (25 %) and pine (35 %) twigs and aspen (15 %) and mountain (25 %) leaves	76,02	$5,6 \cdot 10^6$	93,89	$4,76 \cdot 10^7$	21,35	$4,34 \cdot 10^0$
	Maple leaves	–	–	56,09	$3,52 \cdot 10^4$	15,75	$1,02 \cdot 10^0$
	Linden leaves	120,3	$4,14 \cdot 10^{11}$	75,37	$1,39 \cdot 10^6$	22,62	$5,77 \cdot 10^0$
	Aspen leaves	88,84	$1,35 \cdot 10^8$	75,29	$1,34 \cdot 10^6$	29,26	$2,04 \cdot 10^1$

South FD	Mixture of hazel (50 %), poplar (35 %), and willow (15 %) leaves	75,75	$2,48 \cdot 10^6$	102,83	$2,89 \cdot 10^8$	22,83	$5,6 \cdot 10^0$
	Mixture of hazel (50 %), poplar (35 %), and willow (15 %) twigs	–	–	61,32	$6,41 \cdot 10^4$	23,44	$7,49 \cdot 10^0$
Far Eastern FD	Birch twigs	77,27	$4,83 \cdot 10^6$	93,49	$2,95 \cdot 10^7$	13,46	$1,21 \cdot 10^0$
	Birch bark	139,58	$1,86 \cdot 10^{13}$	93,50	$7,27 \cdot 10^7$	14,16	$1,09 \cdot 10^0$
	Mixture of spruce (60 %) and birch (40 %) twigs	70,34	$1,46 \cdot 10^6$	97,82	$9,86 \cdot 10^7$	20,57	$4,28 \cdot 10^0$

Table 1.3.3 – Thermokinetic characteristics of the pyrolysis of forest combustible materials in an oxidizing atmosphere

Location	FF material	E , kJ/mole	k , 1/s
		430...840 K	
Siberian FD	Birch leaves	34,36	$1,43 \cdot 10^2$
	Pine needles	154,33	$1,04 \cdot 10^{11}$
	Twigs	130,81	$3,73 \cdot 10^{10}$
	Bark	148,13	$7,64 \cdot 10^8$
Ural FD	Maple leaves	69,62	$1,27 \cdot 10^{14}$
	Linden leaves	91,02	$6,53 \cdot 10^6$
	Mixture of juniper (25 %) and pine (35 %) twigs and aspen (15 %) and mountain (25 %) leaves	91,5	$5,59 \cdot 10^6$
South FD	Mixture of hazel (50 %), poplar (35 %), and willow (15 %) twigs	58,7	$8,83 \cdot 10^3$
	Mixture of hazel (50 %), poplar (35 %), and willow (15 %) leaves	106,6	$7,04 \cdot 10^7$
Far Eastern FD	Birch twigs	99,93	$2,32 \cdot 10^7$
	Birch bark	176,22	$6,11 \cdot 10^{13}$
	Mixture of spruce (60 %) and birch (40 %) twigs	85,89	$1,09 \cdot 10^6$

The difference in thermophysical and thermokinetic characteristics of FF materials is related with the difference in chemical composition of these materials. That is why we need to take it into account when we choose a quenching composition.

The highest value of activation energies at all decomposition stages corresponds to pine needles because of the porosity and heterogeneity of this material.

It should be noted that an important result of the research is an obtained information base with the thermophysical and thermokinetic properties of forest combustible materials.

2 Variety of fire-extinguishing agents for forest materials

Fire extinguishing process, as well as a required type of fire extinguishing consistency, and method of its delivery, differs significantly and affects the result of suppression and localization of fire depending on the fire, types, and characteristics of the combustible agent, and combustion conditions.

Consequently, according to the method of extinguishing combustion, water refers to the means of cooling the source of ignition. The temperature of the combustible substance decreases to a value below its ignition temperature. Water spray or water vapor causes a diluting effect. It reduces the oxygen content in the fire. Dry powders and various solutions have an insulating effect - they isolate a hot surface from atmospheric oxygen.

The main means to extinguish fires is water, which has a high fire extinguishing ability due to its high heat capacity. However, in this case, water has a high value of surface tension and, therefore, insufficient penetration power for some porous materials and materials with a complex structure. In order to increase the wetting (penetrating) ability of water, various wetting agents and foaming agents are added into it. In this case, the fire extinguishing process is much more effective, especially while extinguishing porous and fibrous materials. Also, the addition of such chemicals enhances the extinguishing qualities of water.

In addition, it is preferable to extinguish inhomogeneous materials using fire-extinguishing agents based on various additives, rather than pure water. The reason is the fact that water evaporates faster, while the additives used to produce fire-extinguishing agents remain on the surface of the combustible material and prevent them from burning, as well as hold water onto the surface of the forest fuel materials [21]. For instance, the use of specialized additives such as wetting agents increases the dispersion of droplets of sprayed extinguishing liquid. The viscosity of the agent

increases, while using bentonite, or a foam-forming solution as additives, which leads to the formation of larger drops (drops reach the source of ignition avoiding evaporation).

The qualities of the most common components and prepared solutions, suspensions and emulsions for extinguishing forest fuel materials are given in Appendix A. Due to the Table A.1 (Appendix A) we can see that only bentonite, bischofite, and OS-5 solutions have fire retardancy among listed fire-extinguishing agents. This means that these agents while extinguishing forest fuel materials, give them non-combustible qualities for more than 24 hours [21–28]. The wetting agent SP-01 is widely used as an additive to water in the production of fire-extinguishing agent. This agent due to the reduction of water surface tension is effective in extinguishing fibrous porous and hydrophobic combustible materials. This agent is recommended to use for extinguishing forest fuel materials poorly wet with water, as well as burning, accompanied by glowing combustion. Fire-extinguishers based on SP-01 do not have fire retardant qualities. Using a bischofite solution as a fire-extinguishing agent leads to the formation of a coke layer on a surface of the material, which prevents the spread of fire. A fire extinguishing solution based on powder OS-5 has an insulating effect and makes forest fuel materials fire-resistant. The agent of OS-5 is used as a 5-15% solution. A suspension of bentonite, which has a clay structure and an insulating effect, is also efficient as a fire-extinguishing agent - a slick, which prevents the air to pass through, is formed after contact with the surface of forest fuel materials.

Due to the fact that the qualities and characteristics of fire-extinguishing agents are different, the effect of each is also different (this mainly depends on the surface structure of the material, the ability of the fire-extinguishing agent to penetrate into the layer of the forest fuel material or to remain on its surface forming a protective layer), it is advisable making recommendations on the use of such agents for certain groups of forest materials that have different structure and qualities. For instance, according to [22], where moss, lichen, and peat are considered as the researched forest materials, it is found that the highest moistening rate corresponded to moss, which has an air-filled porous structure (surface). The longest wetting time is set for lichen, which has

a dense, almost waterproof surface structure. It is also found in [22] that the wetting time of all examined forest fuel materials decreases with increasing concentration of fire-extinguishing agents, and despite the fact that the surface tension of the agents after a certain concentration almost does not decrease, the wetting time of forest fuel materials decreases. According to [24], the use of bentonite and bischofite solutions affects the process of extinguishing wood the most efficiently. The cessation of combustion is provided by the formation of a protective heat-insulating layer on the surface of the material. In this case, bentonite and bischofite are the most recommended means to extinguish wood.

It is preferable to use water with wetting agents or foaming agents (for example, foaming agent "Progress", "Firex") to extinguish fires occurring in coniferous and deciduous structures, as well as in porous combustible material (for example, bark). The reason is the fact that water penetrates into the thickness of the porous material only partially, remaining on the surface, while water with wetting agents has greater penetrating power. Also, according to the data of Table A.1 (Appendix A), it is evident that emulsions based on foaming agents have the highest average retention capacity on forest fuel materials (more than 74% [26]). Also, due to the increased penetrating ability of wetting agents and foaming agents (concluded by the shorter wetting time of the forest fuel materials), it is recommended to use them to extinguish resistant fires that occur in structurally heterogeneous materials that have overestimated kinetic parameters, and when the use of water becomes ineffective.

In summary, in the automated fire extinguishing system, which is being developed, an emulsion, which is based on a foaming agent and a bischofite solution with the fire-retardant and ignition-preventing abilities as additives to water in order to create effective fire-extinguishing agents that are necessary for extinguishing fires in timber warehouses, is chosen.