



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
Автоматическая система пожаротушения помещения на базе широкой группы огнетушащих составов

УДК 681.5:614.842.6:614.844.2/.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Курапов Роман Максимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Жданова Алена Олеговна	к. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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



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

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

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

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Курапову Роману Максимовичу

Тема работы:

Автоматическая система пожаротушения помещения на базе широкой группы огнетушащих составов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.02.2023 № 29-59/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	В рамках выполнения данной работы будет разработана автоматическая система пожаротушения с предварительным приготовлением огнетушащего состава на основе воды со специализированными добавками на базе современных средств автоматизации. Будут исследованы характеристики тушения пожара огнетушащими составами на основе пенообразователя, бентонита, бишофита, ОС-5, ФР-Лес, антипирена.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Научно-исследовательская работа. 2 Проектирование автоматической системы пожаротушения. 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 4 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схема структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая. 4 Схема монтажная. 5 Сборочный чертеж щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Научно-исследовательская работа (Suppression of flame burning and thermal decomposition of a model forest and peat fire by water-based formulations).	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.01.2023
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Жданова Алена Олеговна	к. ф-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Курапов Роман Максимович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 107 страницы, 11 рисунков, 33 таблиц, 36 источников, 1 приложение, 16 листов графического материала.

Ключевые слова: система пожаротушения, огнетушащие составы, древесная пыль, угольная пыль, система автоматизации, программируемый логический контроллер.

Объектом автоматизации является технологическое оборудование автоматическая система пожаротушения промышленного помещения.

Цель работы – разработка системы автоматического пожаротушения на основе различных огнетушащих агентов для работы в промышленных помещениях, а также проведение экспериментального исследования подавления термолиза угольной и древесной пыли огнетушащими составами на основе воды со специализированными добавками.

При выполнении работы использовался текстовый редактор Microsoft Office, программный пакет для анализа числовых данных и построения графиков OriginPro, SCADA- пакетов для создания АСУТП MasterSCADA 3D.

В результате исследования разработана автоматическая система пожаротушения с применением составов на основе воды.

Содержание

Введение.....	8
1 Научно-исследовательская работа	10
1.1 Экспериментальная методика и материалы	15
1.2 Результаты экспериментальных исследований	19
1.3 Анализ результатов исследований	23
2 Проектирование автоматизированной системы пожаротушения.....	26
2.1 Системный анализ объекта автоматизации.....	26
2.2 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления	28
2.3 Разработка функциональной схемы системы управления.....	29
2.4 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации	30
2.5 Составление перечней входных и выходных сигналов	38
2.6 Проектирование схемы внешних проводок	39
2.7 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления	40
2.10 Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы.....	43
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
3.1 Предпроектный анализ	46
3.2 Планирование комплекса работ НИР	51
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	62
4 Социальная ответственность	69
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
4.2. Производственная безопасность	72
4.3 Повышенная напряженность электрического поля.....	79
4.4 Экологическая безопасность.....	80
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
Заключение	84
Список публикаций студента	86

Графический материал (на отдельных листах):

ФЮРА.421000.006 С1 – Схема структурная системы управления;

ФЮРА. 421000.006 С2 – Схема функциональная системы управления;

ФЮРА.421000.006 СО1 – Заказная спецификация системы управления;

ФЮРА.421000.006 Э4 – Схема электрическая шкафа управления;

ФЮРА.421000.006 ПЭ4 – Перечень элементов электрической схемы;

ФЮРА.421000.006 С4 – Схема монтажная внешних проводок;

ФЮРА.421000.006 СБ – Сборочный чертеж щита управления;

ФЮРА.421000.006 СП – Перечень составных частей щита управления.

Введение

Пожарно-спасательными подразделениями МЧС России в 2021 году совершено 144 823 оперативных выездов на случаи, не подлежащие официальному статистическому учету (пожар). При пожарах 8 416 людей погибло, в том числе 380 детей, получили травмы 8 403 человек, личным составом подразделений спасено 35 487 человек. Пожаром уничтожено более 17,2 зданий и сооружений [1]. В 2007 году большое количество пожаров (72,5%) произошло в жилом секторе. Однако, пожары в производственных зданиях, на складах и базах производственных предприятий дают третью часть от всех материальных потерь на пожарах [2]. По терминологии МЧС России [3] вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, являются горючими веществами. По агрегатному состоянию горючие вещества (материалы) можно разделить на [4,5]: газы, пары, жидкости, твёрдые вещества (материалы), аэрозоли. К категории горючих газов относятся природные газы (сланцевый, болотный), метан, водород, пропан, бутан, бытовая газовая смесь [4,5]. Пары горючих жидкостей, аэрозоли, газы образуют взрывоопасные смеси с воздухом и воспламеняются буквально от одной искры [4,5]. Как правило, помещения (производственные, складские), где они обращаются относятся к категории А по взрывопожарной опасности [6].

В случае пожара используют системы противопожарной защиты. Системы противопожарной защиты являются очень важной составляющей безопасности объектов. Они помогают предотвратить возникновение и распространение пожара, а также обеспечивают быстрое и эффективное тушение возгорания.

Автоматические системы пожаротушения являются важным элементом пожарной безопасности и позволяют быстро реагировать на возгорание, что существенно снижает риск возникновения пожара и сокращает возможный

ущерб. Кроме того, такие системы могут быть интегрированы с другими системами безопасности, что повышает их эффективность и надежность.

Цель работы – разработка АСПТ производственного помещения.

Разработка данной системы позволит решить следующие задачи:

– сбор, хранение, обработку и передачу информации о ходе технологического процесса и состоянии оборудования;

– автоматический контроль параметров, обеспечивающих заданный режим функционирования в соответствии с утвержденным регламентом работы.

Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ объекта автоматизации, выбрать структуру системы управления, представить техническую документацию и выбрать технические средства автоматизации.

1 Научно-исследовательская работа

Помещения (производственные, складские), где обращаются древесные и угольные пыли относятся к категории В по взрывопожарной опасности [7]. Статистика об авариях и пожарах на угледобывающих предприятиях и при транспортировке угля и причины возникновения таких инцидентов приведены в работах [8,9]. На частоту и периодичность возникновения эндогенных пожаров оказывают влияние различные факторы, включая атмосферные условия, такие как влажность, количество осадков, грозовые разряды, барометрическое давление, температура и скорость ветра. Кроме того, трещины и заколы, оставленные после выемки горной массы, могут увеличить площадь контакта с кислородом воздуха, что может привести к возникновению пожаров. Необходимо отметить, что большинство пожаров происходят в угольных и породно-угольных скоплениях, особенно в наличие углистых аргиллитов и алевролитов.

Влияние отходов садовой промышленности на процесс низкотемпературного окисления углей метаморфического ряда марок Г, Ж, К, ОС, Т и ПА в условиях динамического режима окисления исследовано в [10]. Показано, что в качестве антиоксидантов для профилактики самовозгорания наиболее активных к кислороду воздуха склонных к самовозгоранию углей восстановленного типа низкой степени метаморфизма может быть использован 10-15% раствор карбамида, а склонных к самовозгоранию углей маловосстановленного типа средней степени метаморфизма – 10% раствор хлористого кальция.

Решение проблемы самовозгорания бурого угля в ферросплавной промышленности представлено в [11]. Среди возможных путей решения проблемы выделили следующие методы: штабелирование, уплотнение, охлаждение, сокращение сроков хранения, организация контроля температурного режима штабелей, степень измельченности, применение антипирогенов, изоляция. Строительства специальных помещений,

оборудованных системами охлаждения и тушения на основе веществ, препятствующих самовозгоранию. Соблюдать правила и способы штабелирования, при постоянном термоконтроле.

Способы защиты бурого угля при открытом хранении от описано в статьях [12,13]. В качестве ингибиторов применяют инертные газы (N_2 и CO_2) [12]. Увеличение концентрации инертного газа может постепенно снижать скорость окисления и горения и улучшать эффект ингибирования самовозгорания угля. Еще один ингибитор гель-пена в которой после гелеобразования пузырьки прочно захватываются гелевой пленкой высокой вязкости, улучшая ее упругость, способность поглощать тепло и блокировать поток кислорода [13]. Такой ингибитор позволяет эффективно подавлять самовозгорание в штабелях угля.

Экспериментальное исследование самовозгорания угля показаны в работах [14–16]. Изучены изменения температуры, соотношения газов, скорости потребления кислорода и интенсивности нагрева. Экспериментальные результаты показывают, что при самовозгорании угля ниже $70\text{ }^{\circ}C$ температура медленно повышается со временем, а скорость потребления кислорода и интенсивность нагрева медленно увеличиваются с температурой и ускоряются, когда температура превышает $100\text{ }^{\circ}C$ [14]. Температура способствует как пиролизу, так и реакциям горения с низким содержанием кислорода, но реакция горения с низким содержанием кислорода более чувствительна к изменениям температуры и характеристики повторного зажигания становятся менее очевидными [15]. Посторонняя влага так же играет роль при самовоспламенении различных марок угля [16,17]. На стадии медленного окисления посторонняя влага играла физическую тормозящую роль в окислении угля. На стадии ускоренного окисления посторонняя влага оказывала каталитическое действие на угольно-кислородную реакцию или принимала непосредственное участие в реакции.

Результаты исследования процесса самовозгорания бурого угля на основе расчетно-экспериментального метода представлены в статье [18]. Для

определения критических условий самовозгорания и эффективных кинетических параметров процесса использовалась специальная экспериментальная установка. Результаты исследования указывают на влияние размера частиц на время самовозгорания и на скорость окисления угля. Разработана математическая модель самовозгорания угольного вещества. В модели используется пространственное нестационарное уравнение теплопроводности, в котором тепловыделение в процессе окисления угля учитывается путем задания источника тепла на основе экспериментально полученных кинетических параметров процесса самовозгорания - эффективной энергии активации и предэкспоненциального коэффициента. На основе предложенной методологии были проведены оценки самовозгорания бурого угля при транспортировке в полувагоне в различных условиях окружающей среды.

Минимальные температуры воспламенения пылевых смесей, полученных в результате смешивания горючей пыли (мука, лактоза, сахароза, сера) и инертной пыли (известняк, огнетушащие порошки) были получены в работе [19]. Различные смеси с различными весовыми соотношениями были испытаны в печи Годберта Гринвальда и на горячей плите, чтобы измерить влияние состава смеси на минимальную температуру воспламенения слоя и на минимальную температуру воспламенения облака. Для дополнительной проверки влияния размера частиц инертной пыли были отдельно протестированы инертные частицы, просеянные в различные диапазоны размеров. Слой пыли был помещен на горячую плиту после достижения заданной температуры. Критерием воспламенения было видимое свечение или пламя, температура 450°C в слое пыли, повышение температуры более чем на 250°C по сравнению с температурой, установленной для горячей плиты. Если в течение 30 мин возгорания не произошло, эксперимент останавливался. В случае воспламенения испытание продлевалось до тех пор, пока температура образца не опускалась ниже температуры плиты. Чистая мука имела температуру 390°C (слой 5 мм), но воспламенение было затруднено. Мука вела

себя как типичный обугливающийся материал: слой искривлялся и трескался через несколько минут после начала прогона. Такое поведение затрудняет воспламенение, поскольку теплопередача от нагревательной пластины в значительной степени снижается. Мучные известняковые смеси не проявляют такого поведения для инертных массовых долей до 40%. Любое дальнейшее увеличение массовой доли инертного вещества приводит к резкому повышению MITL выше 400 °С.

Анализ минимальной температуры воспламенения пылевого слоя и минимальных температур воспламенения пылевых облаков был представлен в статье [20]. Способ А заключается в определении минимальной температуры, при которой происходит воспламенение пыли и/или ее разложение на горячей плите при постоянной температуре. Метод В используется для определения минимальной температуры воспламенения пылевого облака или других твердых частиц. Были получены минимальные температуры воспламенения слоя пыли воспламенения пылевого облака.

Были рассмотрены работы [21,22] по особенностям тушения горючей пыли. Термическое разложение угольной пыли и порошка ABC изучали с помощью одновременного термического анализатора в работе [21]. Экспериментальные результаты показывают, что добавление порошка ABC увеличило начальную температуру термического разложения угольной пыли, что значительно снизило скорость термического разложения, тепловыделение и максимальный тепловой поток. Начальная температура термического разложения была увеличена добавлением порошка ABC, и термическое разложение угольной пыли затруднено. При добавлении порошка ABC яркость пламени уменьшалась, дефект пламени увеличивался, а скорость и температура пламени значительно снижались. Характеристики дефлаграции были значительно снижены, и пламя не может поддерживать эффективное распространение при 30%-ном содержании порошка ABC. Теплота реакции системы дефлаграции поглощалась порошком ABC и продуктами его

термического разложения, а концентрация горючего вещества и кислорода снижалась.

Экспериментальные исследования воспламенения смесей твердых инертных/горючих порошков представлены в работе [22]. Были рассмотрены три инертных твердых вещества (оксид алюминия, кизельгур, аэросил) и одиннадцать органических порошков, и были определены следующие параметры: минимальная энергия воспламенения, минимальная температура воспламенения в облаке и минимальная температура воспламенения в слое толщиной 5 мм. Увеличение содержания инертного твердого вещества в порошке приводит к более высокой минимальной энергии воспламенения, а также к более высоким минимальным температурам воспламенения в облаке и в слое.

Древесная пыль является основным отходом при обработке древесины и древесных панелей, включая распиливание древесины, шлифование, сколы, отслаивание, что легко приводит к возгоранию и взрывам. Чтобы лучше понять и предотвратить случаи взрыва древесной пыли в будущем, в работах [23,24] была проанализирована информация об авариях на лесобработывающих производствах. На опасность воспламенения влияют свойства древесной пыли (дисперсность, порода древесины) и окружающей среды (температура, влажность, потоки воздуха, состояние оборудования).

Минимальная температура зажигания для облака и слоя древесной пыли является одним из главных параметров пожаровзрывоопасности. Исследование влияния различных факторов на увеличение минимальной температуры зажигания представлено в работах [25,26]. Добавления к древесной пыли различных ингибиторов (гидроксид магния, SiO_2 , полифосфат меламина) при определенной концентрации ведет к резкому повышению температуры зажигания [25]. Результаты исследования [26] показывают, что минимальная температура воспламенения еловой пыли постепенно уменьшается по мере увеличения массы образца и давления воздуха.

Огнетушащие вещества [27–32] классифицируются на три категории: смачивающие, огнезадерживающие и тушащие. При выборе добавок следует учитывать их эффективность при тушении определенных категорий веществ, а также класс и сложность пожара. Практический опыт и результаты лабораторных и полевых испытаний [32] позволили противопожарным службам определить наиболее эффективные составы по экологическим и экономическим критериям.

1.1 Экспериментальная методика и материалы

С целью экспериментального определения минимальных объемов огнетушащих составов, необходимых на подавление горения древесины, угольной и древесной пыли, использовалась экспериментальная установка (рисунок 1). В экспериментах использовался бурый уголь и березовая пыль. Березовая пыль была собрана с рабочих поверхностей станков цеха по деревообработке. Размер навески горючего материала ($a_f \times b_f$: 5x5 см) соответствует площади 100 см². Высота навески составляла $c_f = 3$ см. Масса твердого горючего материала регистрировалась с использованием электронных весов (Acom PC-100W, Южная Корея) с погрешностью 1 г. Образцы измельчались в быстроходной роторной мельнице Pulverisette 14 (конечная степень измельчения 0.08–6 мм в зависимости от измельчающего кольца; частота оборотов ротора 6000–20000 об/мин). Для получения монодисперсного порошка образцы просеивались в вибрационном грохоте ANALYSETTE 3 SPARTAN (продолжительность отсева 3–20 мин, диапазон дисперсности 0,02–63 мм в зависимости от используемых сит). Размер частиц не превышал 200 мкм.

После начала горения материала осуществлялся процесс подавления пламенного горения последовательными импульсами огнетушащего состава. Достижение температуры, регистрируемой каждой термопарой, в слое модельного очага ниже температуры начала термического разложения

считалось необходимым и достаточным условием подавления горения (и термического разложения) горючего материала.

Также в экспериментах рассматривалась древесина хвойных пород экспериментальный стенд модифицировался, на лабораторном столе устанавливался металлический поддон (20x30x3.5 см), в который выкладывался горючий материал массой 30 г. Древесина была распилена на бруски размером не более 5 см в длину и 0,5 см по торцу. Эксперименты с регистрацией характеристик процесса горения проводили многократно при фиксированных условиях (каждая отдельная серия эксперимента повторялась в среднем 8–12 раз). Процедура обработки экспериментальных данных аналогична описанной в [33].

Известно, что в реальной практике пожаротушения подавление горения возможно при выполнении одного из трех условий: прекращение доступа кислорода в зону горения, снижение до минимально допустимых значений температур в этой зоне и прекращение пиролиза горючих материалов. Но первые два условия должны выполняться в течение времени, достаточного для выполнения третьего условия. Поэтому первые два являются мало значимыми по сравнению с условием прекращения пиролиза горючего материала. По этим причинам функцией цели проводимых экспериментов были основные характеристики пиролиза – температуры в слое горючего материала. Условием прекращения пиролиза является снижение температуры в слое прогретого материала до значений меньших температуры начала пиролиза.

Основными варьируемыми факторами в проведенных экспериментах были добавки огнетушащих средств, время импульса (подачи состава к поверхности материала), общее время эксперимента.

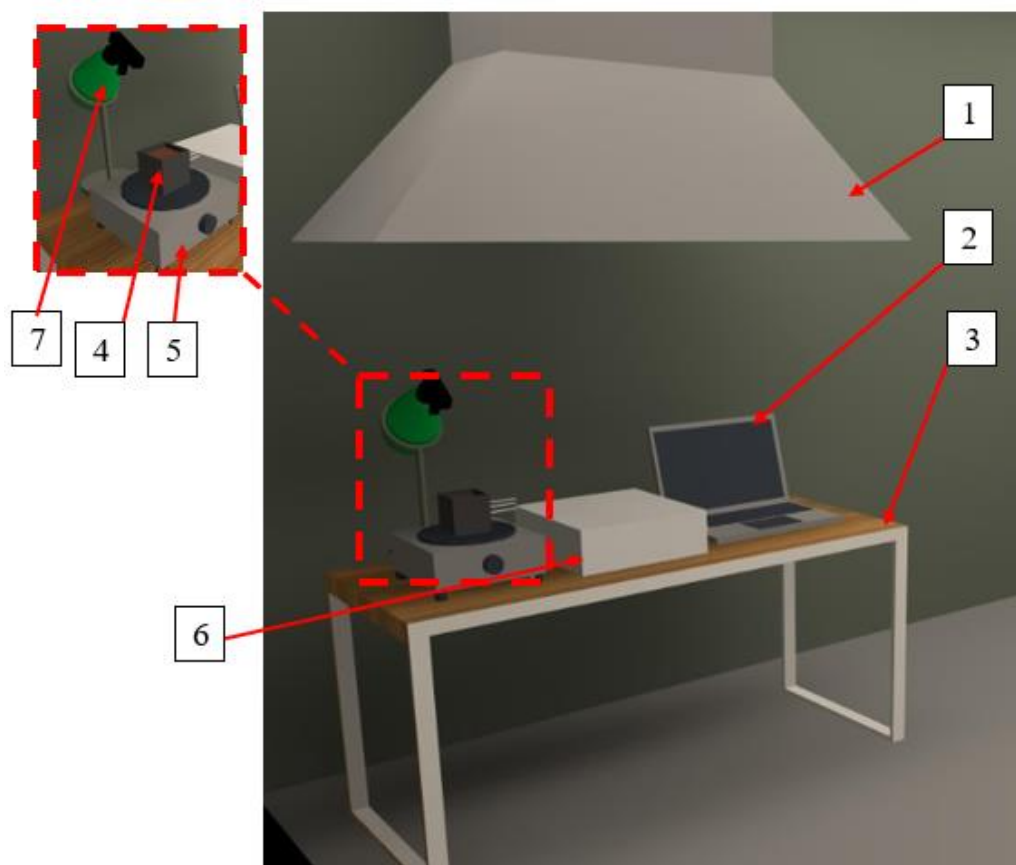


Рисунок 1 – Экспериментальная установка: 1 – система вытяжки (вытяжной зонт); 2 – ноутбук 3 – лабораторный стол; 4 – форма для пыли с термопарами; 5 – электроплита; 6 – блок аналогового ввода; 7 – система орошения

На электроплите устанавливалась форма с пылью массой 30 г для угля, и 10 г для древесины. Температура горячего материала регистрировалась тремя хромель-алюмелевыми термопарами типа К (диапазон температур -50 – 1200 °С, погрешность ± 3 °С) в трех сечениях: на расстояниях 5 мм от основания формы, 15 мм и 25 мм. Данные с термопар передавались (интервал 1 с) с помощью аналого-цифрового преобразователя MB110 с интерфейсом RS-485 на ноутбук. Температурные тренды регистрировались при помощи ПО «Owen process manager», Тление материала инициировалось нагревом на электроплите (в течение $\tau_{if} = 20$ минут). Вытяжной зонт применялся для удаления продуктов сгорания. Закрепленный пульверизатор с изменяющимся

режимом плотности орошения использовался для организации тушения модельного очага.

Массовые и объемные концентрации химических добавок к воде выбраны из типичных возможных на практике диапазонов: пенообразователь (5% масс.), бишофит (10% масс.), ФР-Лес 01 (20% масс.), антипирен (5% об.). При создании жидкостных составов на основе воды массой 400 г использовалось: 20 г пенообразователя, 20 г бентонита, 40 г бишофита, 60 г ОС-5, 80 г концентрата огнетушащего состава «ФР-Лес 01», соответственно. Масса веществ измерялась на весах (VIBRA AJ-420CE, Япония) с погрешностью 0.001 г. При создании жидкостного состава на основе воды объемом 400 мл использовалось 20 мл антипирена. Объем вещества измерялся мерной колбой (1-50-2 50МЛ ГОСТ 1770-74) с ценой деления 1 мл. Для получения огнетушащих составов с типичными для практики массовыми и объемными концентрациями огнетушащие вещества размешивали в воде в течение 5 минут. Таким образом, в качестве огнетушащих составов использовались: вода, эмульсия пенообразователя (5%), раствор бишофита (10%), раствор ОС-5 (15%), раствор ФР-Лес 01 (20%), раствор антипирена (5%).

После начала горения материала осуществлялся процесс подавления разложения последовательными импульсами огнетушащего состава. Температура начала термического разложения выбрана 100 °С.

Достижение температуры, регистрируемой каждой термопарой, в слое модельного очага ниже температуры начала термического разложения считалось необходимым и достаточным условием подавления термического разложения горючего материала. Основными задачами экспериментальных исследований являлись:

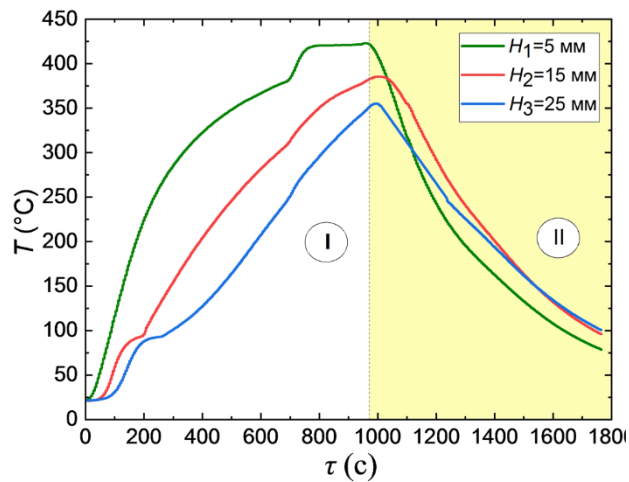
- 1) определение количества впрысков (i), которое необходимо для подавления тления (горения);
- 2) определение минимальных объемов огнетушащих составов (V_{fec}), необходимых на подавление горения горючих материалов;

3) определение времени достижения температуры навески твердого горючего материала меньше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (τ_{sb}) после последнего впрыска огнетушащего состава.

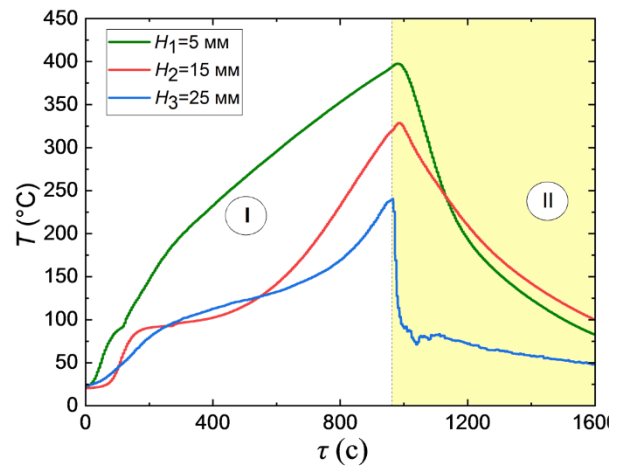
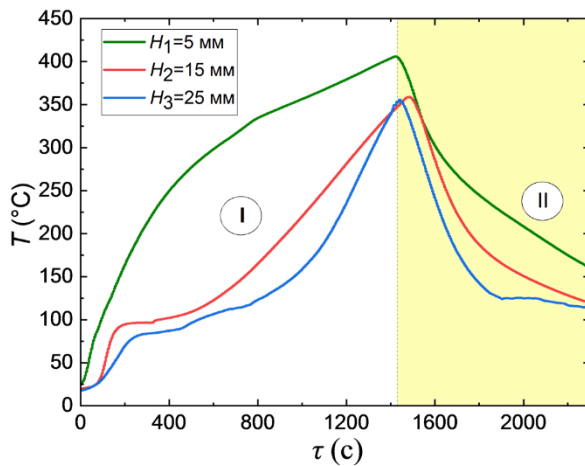
1.2 Результаты экспериментальных исследований

Определение необходимых и достаточных объемов огнетушащих составов. В таблице 1.1 представлены усредненные результаты экспериментальных исследований. В условиях подавления разложения навески с угольной и древесной пылью рассмотренными огнетушащими составами проведены по 10 экспериментов с каждым составом.

На рисунке 2 приведены типичные распределения температур по толщине слоя угольной пыли во времени при тушении очага жидкостным аэрозолем.



а



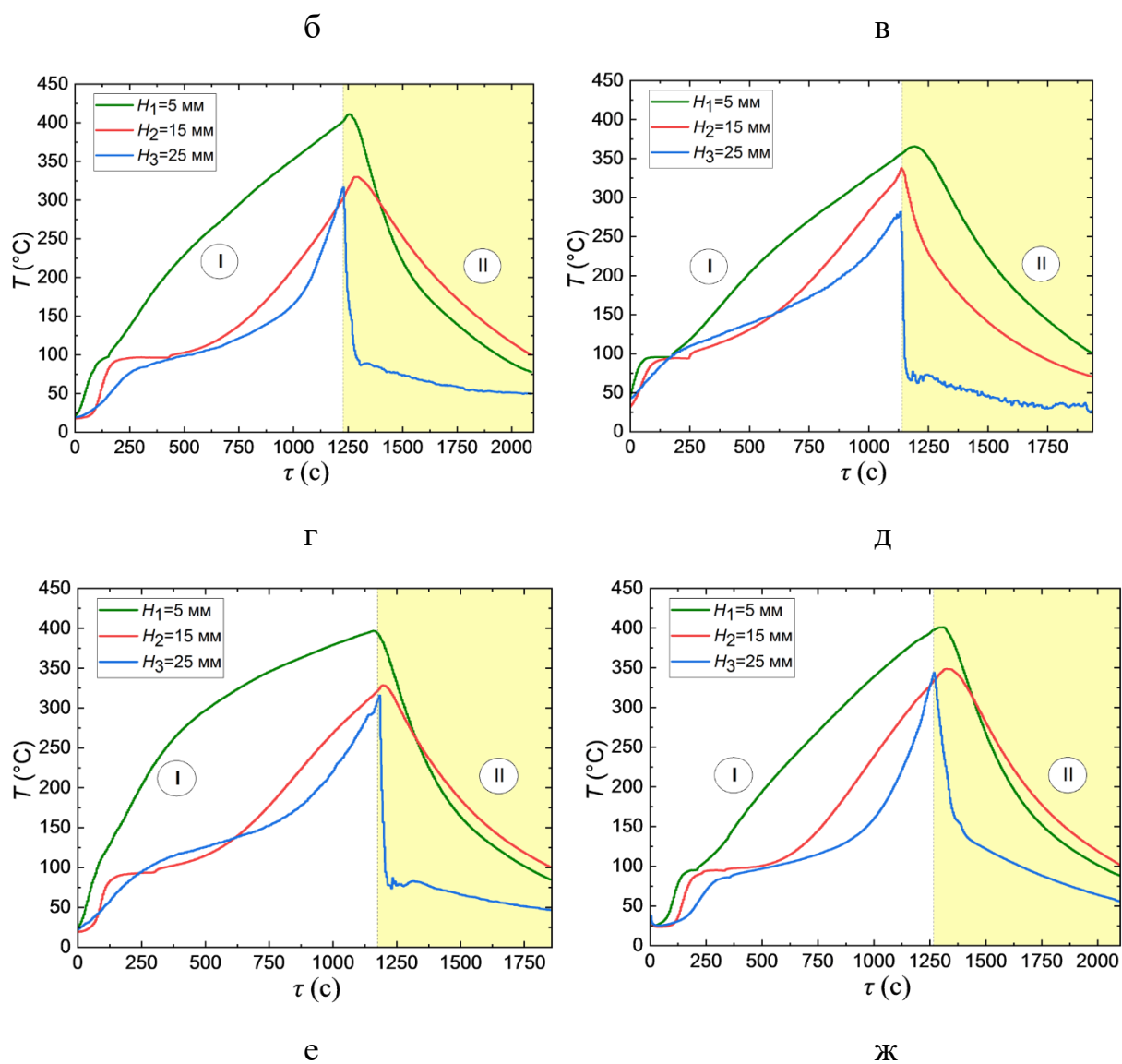
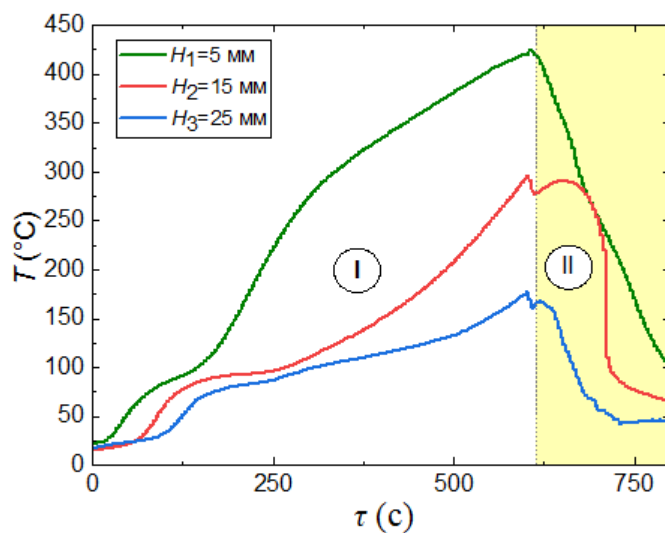


Рисунок 2 – Распределения температур по толщине слоя угольной пыли во времени при тушении очага во времени (I – область до тушения, II – область с тушением): а – водой, б – эмульсией пенообразователя (масс. 5%), в – раствором бишофита (масс. 10%), г – раствором ФР-Лес 01 (масс. 20%), д – раствором антипирена (об. 5%), е – раствором ОС-5 (масс. 15%), ж – суспензией бентонита (масс. 5%)

Таблица 1.1 – Результаты опытов по определению характеристик процесса ликвидации модельного пожара

Огнетушащий состав	Угольная пыль			Пыль березовая			Древесина		
	i	V _{fec} , МЛ	τ _{sd} , С	i	V _{fec} , МЛ	τ _{sd} , С	i	V _{fec} , МЛ	τ _{sd} , С
Вода	20	13	1000	20	13	174	2	1,3	378
Эмульсия пенообразователя (масс. 5%)	18	11,7	860	15	9,75	252	1	0,65	262
Раствор бишофита (масс. 10%)	18	11,7	592	8	5,2	282	1	0,65	537
Раствор ФР-Лес 01 (масс. 20%)	15	9,75	880	8	5,2	413	1	0,65	428
Раствор антипирена (об. 5%)	16	10,4	845	6	3,9	452	1	0,65	338
Раствор ОС-5 (масс. 15%)	17	11,05	652	8	5,2	296	1	0,65	274
Суспензия бентонита (масс. 5%)	14	9,1	720	6	3,9	287	1	0,65	637

На рисунке 3 приведены типичные распределения температур по толщине слоя березовой пыли во времени при тушении очага жидкостным аэрозолем.



а

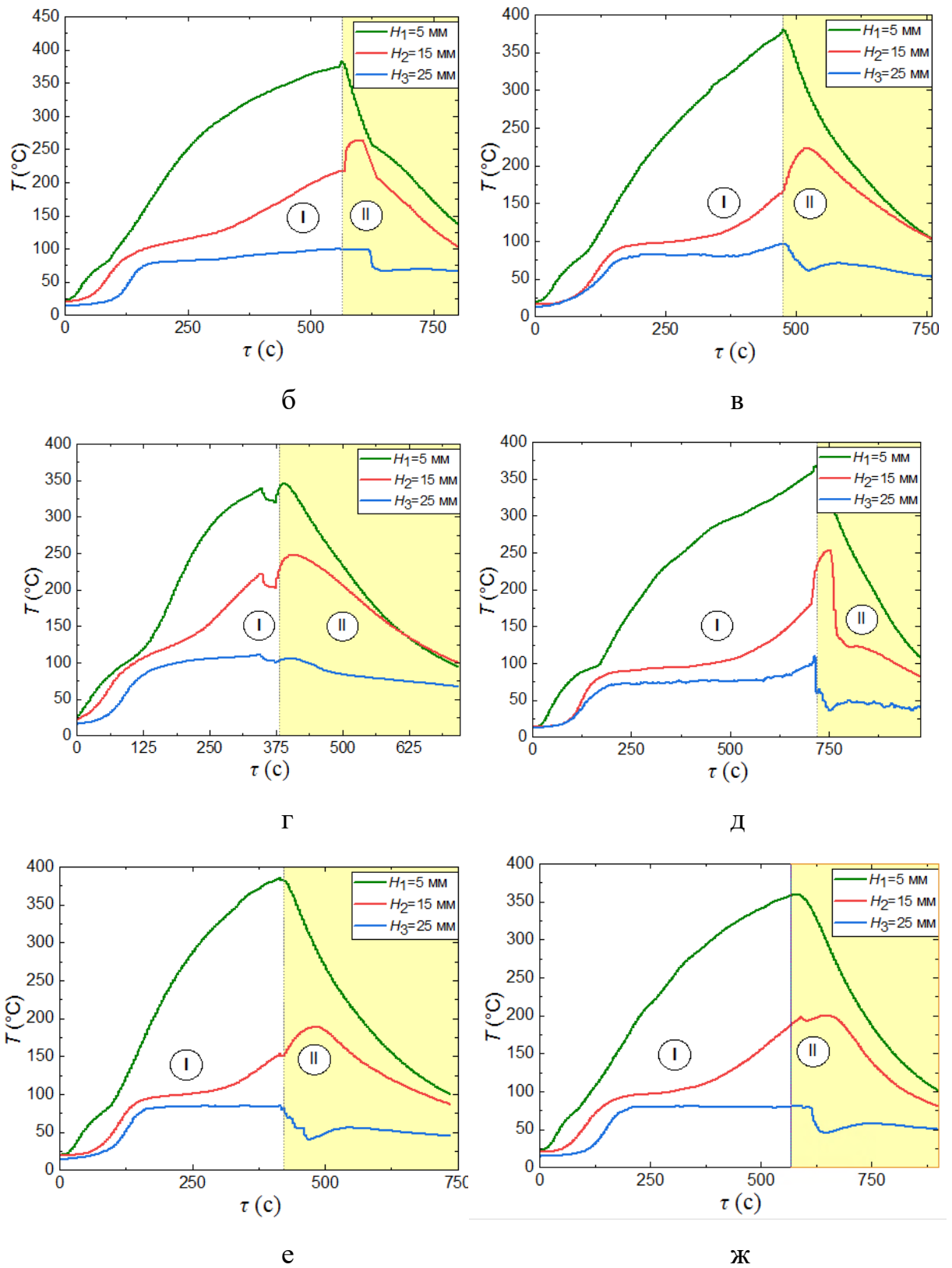


Рисунок 3 – Распределения температур по толщине слоя пыли во времени при тушении очага (I – область до тушения, II – область с

тушением): а – водой, б – эмульсией пенообразователя, в – бишофитом, г – ФР-Лес 01, д – антипиреном, е – ОС-5, ж – бентонитом

1.3 Анализ результатов исследований

Вода в качестве огнетушащего состава для пылей по результатам экспериментов показала, что для подавления тления требуется большой объём жидкости ($V_{\text{fec}}=13$ мл). Водяной аэрозоль испаряется с поверхности очага, понижая температуру верхнего слоя. При дальнейшем распылении в форме с образцом появляется тонкий слой жидкости, который препятствует поступлению кислорода к фронту тления, и процесс тления прекращается.

Эмульсия пенообразователя и ОС-5 в качестве огнетушащего состава показала хорошие смачивающие свойства благодаря поверхностно активным веществам. При высоких температурах поверхности очага, требуется большой объём состава для понижения температуры верхнего слоя ниже точки кипения. Из-за низкого поверхностного натяжения состав проникает глубже к фронту тления, а верхний влажный слой замедляет поступление кислорода к центру тления. Состав ОС-5 содержит антипирогены, которые предотвращают повторное самовозгорание навески материала.

Составы на основе бишофита антипирена, ФР-Лес и бентонита на начальном этапе охлаждает верхний слой за счет испарения воды. Составы обладают повышенной адгезией и остаются на поверхности, создавая изолирующий слой, который не позволяет поступать кислороду к фронту тления. Образовавшийся слой защитит от повторного самовоспламенения.

Анализ результатов позволяет выделить в процессе тушения следующие составы – растворы ОС-5 и бишофита, бентонит. При испарении составы оставляют слой, который в свою очередь препятствует проникновению окислителя к фронту тления, а вода понижает температуру при испарении. Данные составы эффективно работают с угольной и древесной пылью. Составы с добавлением антипирена и ФР-Леса эффективны только с

древесной пылью. Угольная пыль при тлении начинает интенсивно выделять газы, что приводит к температуре верхнего слоя около 300 °С. При такой температуре составы с антипиреном, ФР-Лесом, пенообразователем и водой испаряются полностью, а химическая добавка выгорает полностью. Эти составы начинают работать только после снижения температуры верхнего слоя, и как следствие требуют больших объемов.

Анализ результатов при тушении древесины позволяет выделить в процессе тушения два состава – эмульсию пенообразователя и раствор ОС-5, при взаимодействии которых с твёрдыми горючими материалами образовывалось больше дыма (аэрозоля в виде смеси воздуха с газообразными продуктами полного и неполного горения и мелкодисперсной твердой и жидкой фазой), чем при использовании других ОС. Быстрое образование большого количества дыма, приводящего при своих поглощающих свойствах к снижению теплового потока, объясняется высокой смачивающей способностью огнетушащих составов. В процессе тушения горючего материала эмульсия пенообразования и раствор ОС-5 за счет низкого поверхностного натяжения попадали вглубь навески. В результате площадь взаимодействия этих огнетушащих составов с древесиной больше по сравнению с другими составами.

В результате выполненных исследований установлены основные закономерности подавления горения модельного пожара древесной и угольной пыли, древесины с использованием современных огнетушащих добавок. По результатам выполненных экспериментов можно сделать следующие основные выводы:

- растворы ОС-5 и бишофита, бентонит можно эффективно использовать для тушения угольной пыли, используя малые объемы жидкости;
- растворы ОС-5 и бишофита, бентонит, ФР-Леса, антипирена можно эффективно использовать для тушения древесной пыли, используя малые объемы жидкости;

– растворы ОС-5 и пенообразователя наиболее эффективны при тушении пожара древесных пород;

– раствор пенообразователя и вода требуют значительно большие объемы жидкости для эффективного тушения представленных типов пыли.

2 Проектирование автоматической системы пожаротушения

2.1 Системный анализ объекта автоматизации

Объектом автоматизации является технологическое оборудование АСПТ промышленного помещения.

Промышленные помещения категории А и Б по взрывопожарной опасности относятся согласно [34] к объектам подлежащим оборудованию установками автоматического пожаротушения. Производственные помещения деревообрабатывающей промышленности можно отнести к категории А и Б по взрывопожарной опасности. В соответствии с [35] для тушения пожаров класса "Б" рекомендуется использовать следующие средства пожаротушения: пена, тонкораспыленная вода (ТРВ), вода с добавкой фторированных ПАВ, хладоны, CO₂ и порошки. Эффективность тушения пожара можно увеличить, добавляя различные присадки к воде. Например, использование смачивателей значительно повышает эффективность тушения. Согласно [35] выбранное помещение принадлежит к 6 классу по степени опасности развития пожара и рекомендуется тушение осуществлять водой со смачивателем или низкократной пеной.

В настоящей работе в качестве основных тушащих составов для случая пожара приняты составы на основе воды с использованием пенообразователя и ОС-5.

В систему входит общий трубопровод, который подводит воду к узлам приготовления раствора огнетушащего вещества. Трубопровод подводящий тушащее вещество от узла приготовления к оросителям системы пожаротушения.

В систему пожаротушения входят следующие элементы: средства обнаружения пожара (пожарные извещатели), емкости хранения огнетушащего вещества, запорная арматура с электрическим приводом, насосы (основные, резервные), оросители, приборы КИПиА контроля,

программируемый логический контролер. В таблице 2.1.1 перечислены параметры системы [7].

Таблица 2.1.1 – Требования к системе пожаротушения

Наименование параметра	Значение параметра
Минимальная интенсивность орошения, л/(с·м ²)	0,08
Минимальный свободный напор перед оросителем, МПа	0,5
Площадь для расчета расхода состава, м ²	90
Максимальное расстояние между оросителями, м	3
Минимальное время орошения, с	900
Требуемый объем состава (не менее), л	1125

Основные требования к автоматическим системам пожаротушения включают в себя несколько условий [36]:

– комплекс технических средств АСПТ должен обеспечивать непрерывное регулирование и автоматическое поддержание уставки параметров в границы заданных значений (Таблица 2.1.1);

– срабатывание АСПТ должно происходить в интервале, не превышающем критическое время свободного развития пожара, как определено в ГОСТ 12.1.004;

– для обеспечения возможности эвакуации персонала из помещения организуется задержка начала тушения (не более 30 с) ГОСТ 12.1.004;

– установки АСПТ должны гарантировать заданное время срабатывания (среднеинерционные устройства с продолжительностью срабатывания не более 30 с) в соответствии с нормативной документацией;

– АСПТ должна обеспечивать локализацию пожара в течение времени, необходимого для введения оперативных сил и средств;

– система должна иметь трехуровневую архитектуру и быть основана на микропроцессорной технике;

– технические средства АСПТ должны быть размещены с учетом требований, отраженных в технической и эксплуатационной документации и обеспечивать удобное использование при функционировании и обслуживании

системы.

2.2 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления

Система должна иметь трехуровневую структуру. Верхний уровень - это АРМ оператора, который представляет собой комплекс технических и программных средств автоматизации. Средний уровень - программируемый логический контроллер (ПЛК). А на нижнем уровне должны быть датчики и исполнительные механизмы, которые обеспечивают сбор информации о процессе и управление им.

К нижнему уровню системы относятся автоматические пожарные извещатели, датчики измерения уровня и давления, исполнительные устройства с электроприводом, прибор газоанализа. По сигналам с пожарных извещателей система инициализирует начало тушения. Сигнал о выборе огнетушащего состава приходит с ПЛК согласно данным газоанализа.

Извещатели подключаются к контроллеру двухпроводной линии сигнализации по шлейфу пожарной сигнализации. При использовании адресно-аналоговой системы достаточно срабатывания одного извещателя. Для ручного включения сигнализации используются ручные пожарные извещатели.

Средний уровень пожарной безопасности предусматривает использование программируемого логического контроллера (ПЛК) и контроллера двухпроводной линии (КДЛ) связи. Задача ПЛК заключается в обработке информации, поступающей от измерительных приборов и КДЛ, а также в передаче данных о состоянии системы на АРМ оператора. В свою очередь, КДЛ собирает и обрабатывает информацию, поступающую от пожарных извещателей. Это обеспечивает максимально эффективную работу системы пожаротушения. ПЛК также осуществляет выдачу управляющих сигналов для запуска системы пожаротушения.

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

В случае, когда по показаниям газоанализатора (ГА) требуется подать пенный раствор в систему, сигнал с ПЛК подается на пускатель (ПУ1). На ПУ1 сигнал усиливается и подается на исполнительный механизм (ИМ1) задвижки (РО1). Когда РО1 открыта, вода подается в бак-дозатор и смешивается с пенной эмульсией. Степень открытия РО1 характеризует изменение расхода пенного раствора. Датчик расхода (ДР1) передает сигнал о расходе воды на бак-дозатор. Уровень пенной эмульсии контролируется датчиком уровня (ДУ1).

В случае, когда требуется подать раствор ОС-5 в систему, сигнал с РУ подается на пускатели (ПУ2, ПУ3, ПУ4) и включается насос (Н1 или резервный Н2). На ПУ2, ПУ3 и ПУ4 сигнал усиливается и подается на исполнительные механизмы (ИМ2, ИМ3, ИМ4) задвижки трубопровода воды (РО2) и заслонки трубопровода ОС-5 (РО3). Когда РО2 открыта, вода подается в бак и смешивается с ОС-5. Из бака с готовый раствор ОС-5 перекачивается насосом (Н2). Задвижка (РО4) открывает подачу раствора в систему. Уровень ОС-5 контролируется сигнализатором уровня (СУ). Уровень раствора готового раствора контролируется датчиком уровня (ДУ2). В случае отказа Н1, на ПУ5 сигнал усиливается и подается на исполнительный механизм (ИМ5) задвижки трубопровода резервного насоса (РО5).

Показания с ГА обрабатываются на ПЛК и передаются на АРМ. На АРМ показания сравниваются с базой данных и определяется горючий материал, выбирается наиболее эффективный огнетушащий состав.

Сигналы с шлейфа сигнализации пожарных извещателей подается на контроллер двухпроводной линии (КДЛ). КДЛ может выдать сигналы «Тревога», «Пожар», «Неисправность» на ПЛК и АРМ.

2.3 Разработка функциональной схемы системы управления

Функциональная схема технологического процесса содержит информацию о приборах КИПиА и органах управления, входящих в систему, связях между приборами и устройствами. Взаимосвязи между узлами и сами составные части системы показаны условными обозначениями, согласно ГОСТ 21.403-80.

На первом этапе разработки функциональной схемы были определены измерительные каналы (1-7, 15-22), каналы управления (8-14), каналы сигнализации (1-7, 22).

Для измерения расхода воды и готовых растворов используются измерительные приборы 1а, 3а, а для измерения массового расхода прибор 2а. Для измерения уровня используется прибор 5а, а для сигнализации уровня прибор 4а, 6а. Для контролирования содержания углекислого газа в помещении используется датчик газоанализа 7а, который установлен непосредственно в самом помещении.

Датчики дыма 16а, 17а и пламени 18а и ручной пожарный извещатель 19а установлены в помещении, для сбора сигналов с них используется контроллер 8а.

Пускатели 9а, 10а, 11а, 12а, 13а исполнительных механизмов 9б, 10б, 11б, 12б, 13б по сигналу управления изменяют положение задвижек. Сигнал о положении задвижек приходит по каналам 15, 16, 17, 18, 19 с датчиков положения а 9в, 10в, 11в, 12в, 13в. Частотные регуляторы 14а, 15а насосов 14б, 15б по сигналу управления изменяю производительность. Сигнал о текущей частоте работы насосов приходит по каналам 20, 21 с регуляторов 14а, 15а.

2.4 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации

Для разработки АСПТ промышленного помещения необходимо выбрать: программируемый логический контроллер; датчик расхода; датчик уровня, газоанализатор; пожарные извещатели; насосы; контроллер

двухпроводной линии; программируемый логический контроллер, исполнительный механизм.

При выборе технических средств автоматизации (ТСА), предпочтение отдавалось серийно выпускаемым устройствам. Это было обусловлено необходимостью обеспечения взаимозаменяемости и наличием унифицированных сигналов. Информация о заказных приборах и средствах автоматизации системы управления представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.006 СО1.

Выбор датчика уровня

При выборе уровнемера для измерения уровня в резервуарах с огнетушащем составом и водой, были рассмотрены модели ОМУВ 05-1, ПМП-128 и ЛМК 331. Уровнемеры ОМУВ 05-1 и ПМП-128 являются поплавковыми, принцип их работы основан на измерении положения поплавка, который частично погружается в жидкость и перемещается вместе с уровнем жидкости. Уровнемер ЛМК 331 оптимизирован для работы с агрессивными и вязкими средами. Технические характеристики уровнемеров представлены в таблице 2.4.1.

Таблица 2.4.1 – Технические характеристики уровнемеров

Наименование уровнемеров	Сигнализатор уровня ОМУВ 05-1	Уровнемер ЛМК 331	ПД100И-ДА0,5-111-0,25
Диапазон измерения, °С	-40...+70	- 25...+135	-40...+100
Максимальное избыточное давление, МПа	2,5	6	0,1
Диапазон измерения, м	0,1...15	0,5...25	0,01...10
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Напряжение питания, В	24	12-36	12
Стоимость, руб.	41000	25150	18500

Для контроля уровня в баках выбираем датчик абсолютного давления ПД100И-ДА0,5, который имеет меньшую погрешность, меньшую стоимость, а также унифицированный выходной сигнал 4...20 мА.

В разрабатываемой автоматизированной системе для измерения уровня в бункере с ОС-5 необходимо выбрать уровнемер. Рассмотрим NivoCAP СК, СУ-100, Magnetrol Kotron. В таблице 2.4.2 представлены технические характеристики уровнемеров.

Таблица 2.4.2 – Технические характеристики уровнемеров

Наименование уровнемеров	NivoCAP СК	СУ-100	Magnetrol Kotron
Диапазон измерения, м	0...4	0...2	0...7
Выходной сигнал	релейный	релейный	релейный
Напряжение питания, В	220	220	220
Стоимость, руб.	37050	10800	25600

Для контроля уровня в бункере выбираем емкостный сигнализатор уровня СУ-100, который имеет подходящий диапазон измерений, меньшую стоимость

В разрабатываемой системе для измерения уровня в баке с раствором ОС-5 необходимо выбрать сигнализатор уровня. Рассмотрим СУЖ-П, УК-2-400, ПДУ-1.3. В таблице 2.4.3 представлены технические характеристики уровнемеров.

Таблица 2.4.3 – Технические характеристики уровнемеров

Наименование уровнемеров	СУЖ-П	УК-2-400	ПДУ-1.2
Диапазон измерения, м	0...2,5	0...4	0...3
Выходной сигнал	релейный	релейный	релейный
Напряжение питания, В	220	220	220
Стоимость, руб.	12350	21000	7000

Для контроля уровня в бункере выбираем емкостный сигнализатор уровня ПДУ-1.3, который имеет подходящий диапазон измерений, меньшую стоимость.

Выбор датчика давления

Для измерения давления в трубопроводах системы (до и после насосов) пожаротушения требуется выбрать датчик давления. Рассмотрим датчики избыточного давления, изготавливаемые на заводах «Метран» и «Овен». Будут рассмотрены датчики, произведенные фирмами «Метран» и «Овен». Технические характеристики датчиков избыточного давления приведены в таблице 2.4.4.

Таблица 2.4.4 – Технические характеристики датчиков расхода

Наименование датчиков	ПД- 100	ПД200- ДА	Метран- 150 АС TG
Диапазон температур рабочей среды, °С	-20 ...+110	-40 ... + 100	-40...+315
Диапазон измерения, МПа	До 4,0	До 6,0	0,097...13 ,8
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Стоимость, руб.	18000	22100	38000

Выбираем датчик избыточного давления ПД-100-ДИ4, так как его верхний диапазон измерения давления подходит для разрабатываемой системы.

Выбор датчика расхода для сыпучих материалов

Для измерения расхода ОС-5 потребуется датчик расхода массовый. Выбираемые датчики должны обеспечивать работу с сыпучими средами. В таблице 2.4.5 указаны технические характеристики и паспортов трёх таких расходомеров: MF 3000, DensFlow и SolidFlow.

Таблица 2.4.5 – 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	4...20 мА	4...20 мА
Стоимость, руб.	45100	42000	41340

Рассматривая технические характеристики измерителей расхода, выбор был сделан в пользу DensFlow. Прибор имеет меньшую погрешность измерений в требуемом диапазоне.

Выбор газоанализатора

В отношении газоанализатора для разрабатываемой системы требуется устройство для определения концентрации оксида углерода. К-100 - это электрохимический газоанализатор, который предназначен для определения концентрации СО (угарного газа) в атмосферном воздухе. Датчик газа IRON/CA3S со сменным модулем (сенсором) B95-IRON/CA3S разработан для работы в системах непрерывного контроля токсичных газов. Сенсон-СВ-5023 - это 1-канальный газоанализатор для непрерывного контроля концентрации газа в рабочей зоне, который предназначен для общепромышленных применений. В таблице 2.4.6 приведены сравнительные характеристики газоанализаторов.

Таблица 2.4.6 – Технические характеристики газоанализаторов

Наименование газоанализаторов	Газоанализатор К-100	Сенсон-СВ-5023	IRON/CA3S
Диапазон измерений, мг/м ³	0 – 50,0	0,1–300	0-300
Предел основной погрешности измерения (приведенной), %	20	10	15
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Стоимость, руб.	65100	42000	41340

Выбор насосного оборудования

Для подвода огнетушащего состава по трубопроводам к оросителям, в системе предусмотрен питающий насос (основной и резервный).

Учитывая возможность повышенной вязкости тушащего состава и присутствие твердых частиц, необходимо выбирать насосное оборудование с учетом этих параметров. Например, перистальтический насос Абаque имеет самовсасывающие свойства, что позволяет перекачивать жидкости с твердыми включениями. Насос IR/IR4P/MG2 является моноблочным и соответствует стандарту UNI EN 1092-2, а его электродвигатель - асинхронный. Насос MegaCPK центробежного типа, используется для перекачки жидких сред с включениями. В таблице 2.4.7 представлено насосное оборудование.

Таблица 2.4.7 – Технические характеристики насосного оборудования

Наименование насосов	Перистальтический насос Абаque	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
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.

Насос MegaСРК имеет, согласно паспорту, производительность и напор необходимый для работы системы. В противопожарном исполнении может перекачивать огнетушащий растворы без вреда для механизмов насоса.

Выбор исполнительного механизма

Для системы тушения пожаров рекомендуется выбрать электрический исполнительный механизм однооборотного рычажного типа МЭО-250/10-0,25У-99 в стандартном исполнении для промышленных нужд. Характеристики исполнительного механизма приведены в таблице 2.4.8.

Таблица 2.4.8 – 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

Управление механизмом может осуществляться как автоматически, так и вручную. Бесконтактное управление может производиться через пускатель ПБР. Для контроля положения выходного вала используется блок сигнализации тока БСПТ-10АМ, который имеет унифицированный токовый сигнал 4...20 мА.

Выбор контроллера

Контроллер в данной работе должен обладать достаточным количеством аналоговых и дискретных входов и выходов, иметь возможность оснащения дополнительными модулями.

Рассмотрено несколько вариантов:

- ОВЕН 63;
- ЭЛСИ – ТМК;
- S7-200.

Выбираем контроллер ЭЛСИ - ТМК, так как контроллер имеет достаточное количество аналоговых и дискретных входов, выходов.

Технические характеристики контроллеров представлены в таблице 2.4.9.

Таблица 2.4.9 – Технические характеристики контроллеров

Марка контроллера	ОВЕН 63	Элси - ТМК	SIMATIC-S7-200
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц; 24 В	~220 В, 50 Гц; 24 В	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, для переменного тока, ВА	18	20	12
Параметры встроенного вторичного источника питания, выходное напряжение, В	24±3	24 ± 4 В	24±3
Количество дискретных входов	8	64	14
Количество аналоговых входов	8	24	2
Количество дискретных выходов	4	64	10
Количество аналоговых выходов	6	24	1
Разрядность АЦП, бит	32	32	32
Среда программирования	Codesys	Codesys	Step7
Цена	15960 руб.	13950 руб.	1443 евро

Выбор контроллера двухпроводной линии связи

В качестве интегрированной системы охраны выберем «Орион». Орион По сравнению с ИСО «Рубеж» и «Сфера» имеют большее количество готовых решения для внедрения в АСПТ. Для конструирование адресной системы

выберем контроллер С2000-КДЛ. Характеристики контроллера приведены в таблице 2.4.10.

Таблица 2.4.10 – Технические характеристики контроллера

Параметр	Значение
Напряжение питания	24 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, ВА	0,4
Количество адресных устройств, шт	до 127
Работа с интерфейсами	RS-485
Длина линии, м	1200

Для данного контроллера, согласно документации, выберем следующие приборы: дымовой извещатель «ДИП-34А-05», извещатель пожарный пламени «С2000-Спектрон-608», извещатель пожарный ручной адресный «ИПР 513-3АМ».

2.5 Составление перечней входных и выходных сигналов

Входной сигнал представляет собой сигнал, который поступает на вход контроллера от объекта управления или управляемой системы. С выхода контроллера на объект управления или в систему управления поступает выходной сигнал. Таким образом, мы сталкиваемся со сигналами, которые входят в микроконтроллер и выходят из него.

Для выбора модулей программируемого логического контроллера из каталога производителя, требуется составление таблицы, в которой будет отражена информация о количестве входных и выходных сигналах системы. Перечень входных и выходных сигналов приведен в таблица 2.5.1.

Таблица 2.5.1 – Перечень входных и выходных сигналов

Входные сигналы		
Источник	Тип сигнала	Количество
Датчик расход жидкости	4-20 мА	2
Датчик расхода сыпучих материалов	4-20 мА	1
Датчик уровня	4-20 мА	1
Газоанализатор	4-20 мА	1
Сигнализатор уровня	Сухой контакт	3
С2000-КДЛ	RS-485	1
Датчик положения вала исполнительного механизма	4-20 мА	5
Модуль системы регулирования частоты	4-20 мА	2
Итого:		14
Выходные сигналы		
Приемник	Тип сигнала	Количество
Пусковое блок исполнительного механизма	4-20 мА	5
Модуль системы регулирования частоты	4-20 мА	2
Итого:		7

Исходя из таблицы 2.6.1 для программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК выберем следующие модули: модуль питания TP 712 024DC, модуль процессора TC 711 A8-100, модуль аналогового ввода TA 715 24IDC, модуль аналогового вывода TA 714 80 DC, модуль дискретных ввода TD 721 16I 024DC, коммуникационный модуль TN 713 485 2M.

2.6 Проектирование схемы внешних проводок

Для проведения монтажных работ необходима схема внешних проводок, которая также используется при эксплуатации, наладке, ремонте и профилактических работах. При разработке схем внешних проводок используется техническая документация заводов-изготовителей средств автоматизации. При разработке схемы внешних проводок нужно руководствоваться паспортами изделий, а также правилами устройства электроустановок.

Монтажные символы изображают оборудование, и входящие в его состав соединительные клеммы (блоки зажимов). Маркировка номеров каждой жили указывают рядам с местом их присоединения. Шкаф системы

изображен в виде условного обозначения (прямоугольника) внизу с изображением и нумерацией блоков зажимов.

Металлические клеммные коробки КС-20, КС-40 используются для соединения и разключения электрических кабелей. Условным контуром с сальниками на местах ввода изображены данные коробки, во внутренней области обозначены номера клемм для подключения.

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

2.7 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления

На принципиальной электрической схеме должны быть отражены все устройства КИПиА и исполнительные механизмы. При создании схемы используются развернутые изображения технических компонентов. При изображении линий связи (жили проводов) следует избегать их пересечения. В случае, когда невозможно избежать пересечения, следует придерживаться угла 90 град. между проводами. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД указывает, что устройства на схемах требуется обозначать специальным буквенным кодом и соблюдать нумерацию. В этом разделе представлена электрическая схема соединения щита, изображенная на листах с кодом ФЮРА.421000.006 Э4.

Для питания шкафа установлен основной источник питания и автономный с встроенным аккумулятором. В щите установлена система вентиляции, которая активируется от термореле КК1. Ввод питания в щит управления осуществляется через блок зажимов ХТ0. В щите предусмотрена розетка ХS1. Источники питания трансформируют напряжение 220В в постоянный ток 24В, необходимый для питания аппаратуры шкафа. Автоматические выключатели QF1 и QF2 выполняют роль защиты от незапланированной перегрузки или короткого замыкания.

Для организации гальванической развязки между ПЛК и аналоговыми сигналами с поля установлены преобразователи 3RS1722-2ET00. На схеме присутствует модуль аналогового ввода TA 715 24 IDC, модуль аналогового

вывода ТА 714 80 DC для цепей управления и измерения. Сигнал управляющего воздействия реализуется с помощью аналоговых сигналов 4...20 мА, приходящих на исполнительные механизмы с ПЛК ЭЛСИ-ТМК. Перечень элементов электрической схемы приведен на листах с шифром ФЮРА.421000.006 ПЭ.

2.8 Разработка сборочного чертежа щита управления

Сборочный чертеж необходим для осуществления монтажа конструкций шкафа и электронных компонентов во внутренней полости. На чертеже следует отразить места для крепления электроники шкафа, его размеры. Чертеж щита управления доступен на листе ФЮРА.42100.006 СБ и показывает конструкцию изделия и расположение его частей. Также на этом чертеже указаны особенности и требования, которые должны быть выполнены или проверены для данной сборки.

Для щита автоматической системы пожаротушения был выбран компактный линейный шкафов АХ серии 1180.000 из каталога компании «Rittal». В щите установлена система вентиляции, которая активируется от термореле КК1. Общий вид щита можно увидеть на листах ФЮРА.42100.006 ВО. На передней панели шкафа располагаются светильник (EL1), аккумуляторный блок (GB1) и модульный контроллер ЭЛСИ-ТМК (AC1). В верхнем углу находится выключатель концевой (SQ1), а на DIN-рейке установлены блок питания (G1), термореле (КК1), группа автоматических выключателей (QF1, QF2), розетка ~220 В (XS1) и повторитель RS485 (Z1). Нижняя часть шкафа содержит клеммные сборки для подключения проводов, по которым передается информация на модули ввода/вывода ПЛК. Провода складываются в специальные короба, расположенные вертикально по боковым панелям. Сведения о приборах и технических средствах для щита управления указаны на листах ФЮРА.42100.006 СБС.

2.9 Разработка фрагментов информационного, математического и программного обеспечений

Система управления автоматическим пожаротушением использует математическую модель, алгоритм которой устроен основываясь на ГОСТ 24.104-85. Данный алгоритм позволяет системе оперативно выполнять свои функции своевременного обнаружения факта начала пожара, инициирования выбора и приготовления огнетушащего состава, начала тушения очага возгорания. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 4.

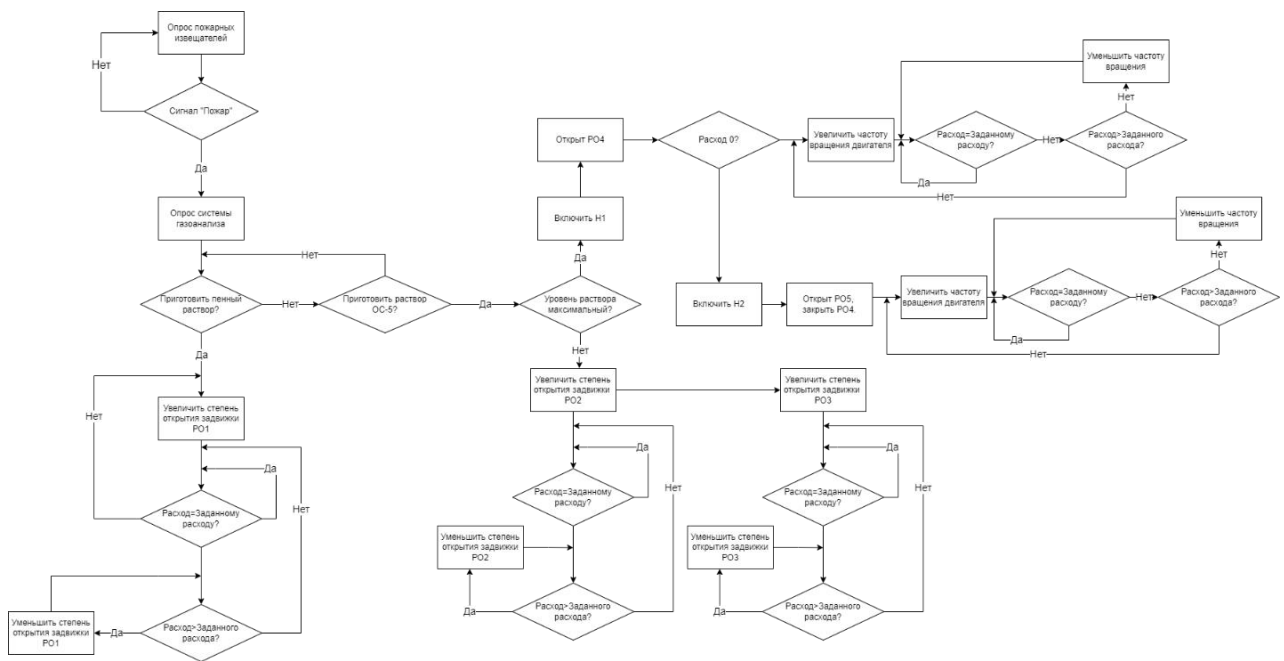


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма управления

2.10 Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы

Для удобства работы оператора системы автоматического пожаротушения для системы была разработана мнемосхема. Мнемосхема отражает все необходимые параметры участка приготовления и доставки огнетушащего состава к оросителям, а так же выводит о начале пожара. Таким образом, мнемосхема системы пожаротушения была создана, исходя из описанных выше требований.

Окно, показанное на рисунке 5 отображает систему пожарообнаружения. С среднего уровня приходит информация о том какой пожарный извещатель сработал, а также информация о их неисправности. В реальном времени отображается показание о концентрации СО. Возможно ручное включение пожарной сигнализации с помощью ручного пожарного извещателя (элемент «Ползунок»).

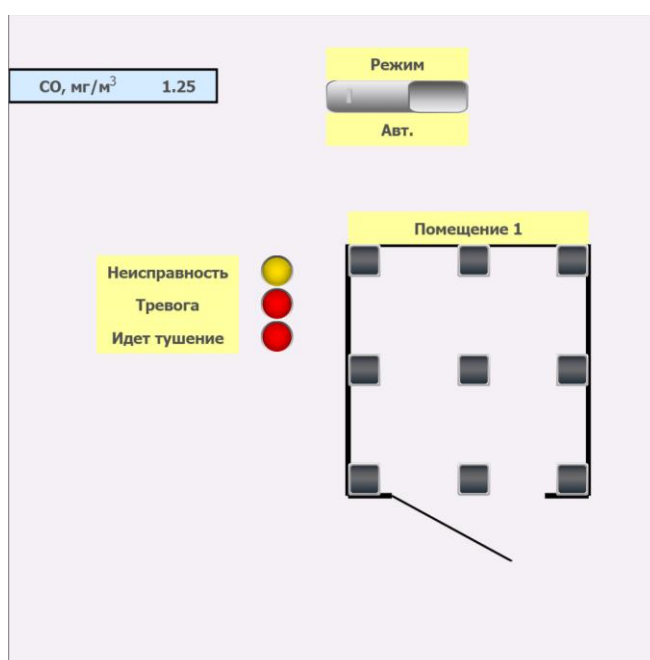


Рисунок 5 – Окно НМІ-интерфейса с состоянием системы пожарообнаружения

Окно, показанное на рисунке 6 отображает систему пожаротушения. Отображается уровень в баке дозаторе, бункере с ОС-5 и в емкости с

раствором. Открытие и закрытие задвижек характеризует цвет сигнальных ламп. Отображается расход в точках отбора информации.

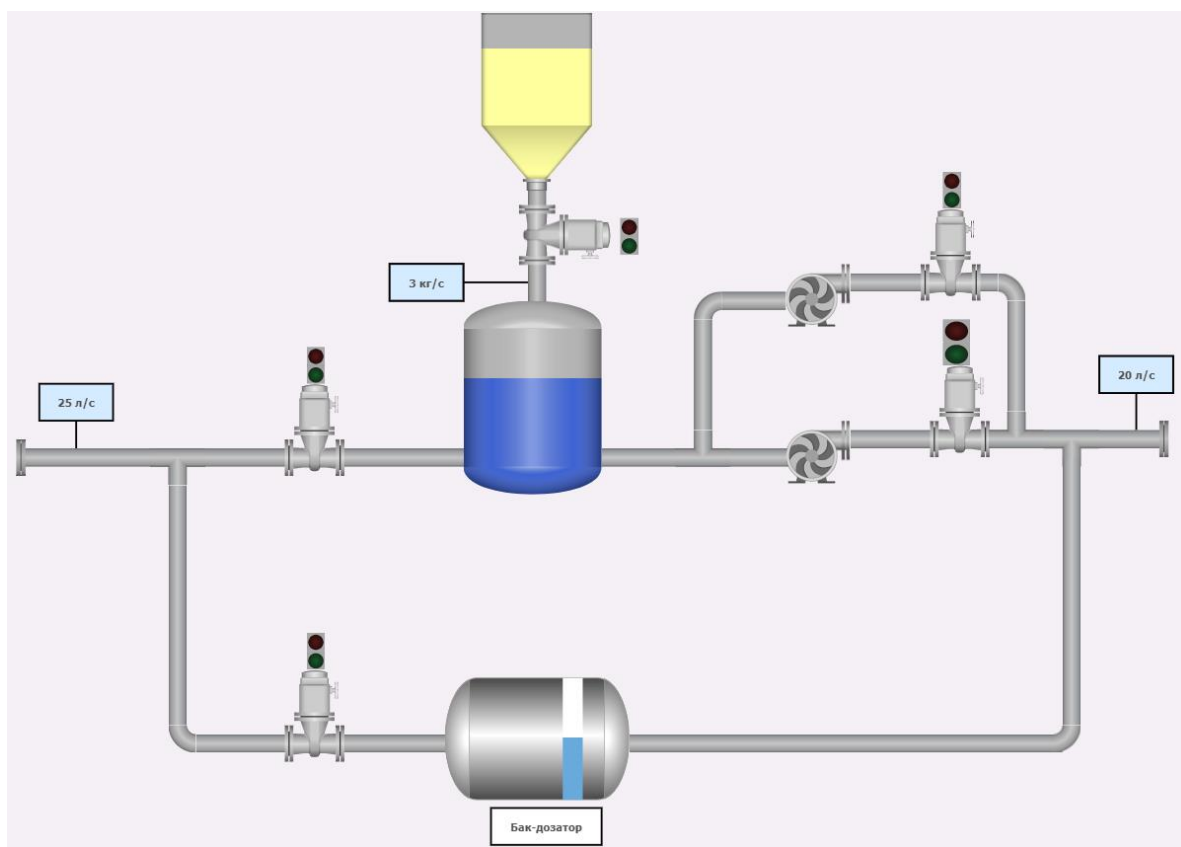


Рисунок 6 – Окно НМІ-интерфейса с состоянием работы системы пожаротушения

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Курапову Роману Максимовичу

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»:

1. <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>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Число календарных дней в году – 365; продолжительность выполнения проекта – 5 месяцев; дополнительная заработная плата – 13% от основной; накладные расходы - 10% от суммы всех расходов</i>
3. <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:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Технико-экономическое обоснование научноисследовательской работы, потенциальные потребители результатов исследования.</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Планирование этапов разработки программы, определение трудоемкости</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление графика проведения научнотехнического исследования; определение бюджета научно-технического исследования; оценка эффективности проекта</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Оценка ресурсной и финансовый эффективности исследований</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НТИ*
4. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ*
5. *Потенциальные риски*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Курапов Роман Максимович		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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.

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 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 в производственных помещениях. 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 складировать материалы категории А по взрывопожарной опасности. 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», «КедрТомск», «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 объемов тушащего состава и замены форсуночных устройств (в случае необходимости). Такого рода ТО систем пожаротушения составляет в среднем 13500 руб.

3.1.2. 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, повышает конкурентоспособность. Для определения эффективности научной разработки проведем сравнение применения воды (K_B), полидисперсных жидкостных аэрозолей ($K_{пжа}$) и хладонов (K_X) в качестве огнетушащих средств в системах пожаротушения.

Такой анализ проводится с использованием оценочной карты (таблица 3.1.2.1).

Таблица 3.1.2.1– Оценочная карты сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$K_в$	$K_{п\lambda}$	K_x	$K_в$	$K_{п\lambda}$	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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

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

Рассматриваемое в проекте решение имеет наиболее высокий коэффициент конкурентоспособности по сравнению с конкурентами.

3.1.3 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 3.1.3.1.

Таблица 3.1.3.1 – 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>
<p>В1. Повышение эффективности работы системы пожаротушения.</p> <p>В2. Снижение расхода воды.</p> <p>В3. Наличие комплектующих в свободном доступе на российском рынке.</p> <p>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.</p> <p>2. Большой потенциал системы, а также возможность выхода на внешний рынок обуславливаются принципиально новым и эффективным способом тушения возгораний.</p> <p>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>

Продолжение таблицы 3.1.3.1

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий пожаротушения. У2. Отсутствие спроса на тушение пожаров полидисперсным жидкостным аэрозодем.</p>	<p>1. Более низкая стоимость и универсальность системы привлечёт потенциальных потребителей.</p> <p>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 3.1.3.2 – 3.1.3.5).

Таблица 3.1.3.2 – Интерактивная матрица проекта

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

Из анализа таблицы 3.1.3.2 можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: B1C1C2C3C4C6, B2C1 C2C3C6, B3C1C2C5, B4C2C3C4C5C6.

Таблица 3.1.3.3 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	-	-	+
	B2	-	-	0	+
	B3	+	0	0	0
	B4	-	-	-	-

Из анализа таблицы 3.1.3.3 можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и возможности: B1Сл1Сл4, B2Сл4, B3Сл1.

Таблица 3.1.3.4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	-	+	+	+	+	+
	У2	-	+	+	+	+	0

Таблица 3.1.3.5 – 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.

3.2 Планирование комплекса работ НИР

3.2.1 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 3.2.1.1. 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 85 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 3.2.1.1, где научный руководитель – НР, магистрант – М.

Таблица 3.2.1.1 – 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_{Pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{Pi} = \frac{t_{ож}}{Ч_i},$$

где T_{Pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн. $Ч_i$ – 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:

$$T_{РД} = T_{Pi} \cdot T_{КД},$$

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 2023 году ($T_{КАЛ} = 365$); $T_{ВД}$ – выходные дни в 2023; $T_{ПД}$ – праздничные дни в 2023 году. Количество выходных и праздничны дней в 2023 году – 118.

$$T_{КД} = \frac{365}{365 - 118} = 1,477.$$

В таблице 3.2.1.2 приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 3.2.1.2 – Длительность этапов работ

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни						Длительность работ, человекодни			
		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	-
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	-	1,477	
Итого								82,4	26,2	121,53	38,6

Таким образом, составлен полный перечень проводимых работ. Результатом планирования работ является линейный график реализации проекта (рисунок 3.2.1.1). Для построения данного графика в таблице 3.2.1.2 рассчитана длительность этапов работ и число исполнителей на каждом этапе.

Наименование работы	Исполнитель	Кол-во дней	Продолжительность выполнения работ														
			Январь		Февраль			Март			Апрель			Май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Составление и утверждение задания ТЗ	НР	5	■														
	М																
Подбор и изучение материалов по тематике	НР	6	■														
	М	14	■	■													
Разработка календарного плана	НР	5		■													
	М	2		■													
Проведение исследований	НР	11			■	■											
	М	30			■	■	■	■									
Оценка эффективности полученных результатов	НР																
	М	26						■	■	■							
Анализ результатов исследования	НР	8									■	■					
	М	20									■	■	■				
Разработка конструкторской документации	НР	5															
	М	24											■	■	■		
Оформление пояснительной записки	НР	2															
	М	8													■		
Сдача НИР	НР																
	М	2													■		

■ - НР
■ - М

Рисунок 3.2.1.1 – Диаграмма Ганта

3.2.2 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);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат проводится по действующим договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортнозаготовительные расходы (3...5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации. Результаты по данной статье заносятся в таблицу 3.2.2.1.

Для вычисления материальных затрат воспользуемся формулой:

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

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – 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.

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 качестве таких добавок в разрабатываемой системе выбраны пенообразователь AFFF и ОС-5. С учетом площади объекта (не более 800 м²) необходимо приобрести 300 кг пенообразователя и 300 кг сыпучих добавок. Стоимость пенообразователя AFFF за 1 кг составляет 52 руб.

Стоимость 1 кг ОС-5 составляет 64 руб. Итого затраты на приобретение добавок составляют 34800 руб.

Таблица 3.2.2.1– Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материал, руб.
ОС-5	кг.	300	64	19200
Пенообразователь AFFF	кг.	300	52	15600
Итого				34800

$$Z_M = (1 + 0,05) \cdot 34800 = 36540 \text{ руб.}$$

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 3.2.2.2 приведены затраты на оборудование. Также для реализации АСУ тушения разными составами необходимо приобретение специализированных добавок к воде (жидкофазные и сыпучие добавки).

Таблица 3.2.2.2 – Затраты на оборудование

Наименование	Цена за ед., руб	Кол-во, 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 с модулями	163 250	1	163 250
Блок ручного управления БРУ-42-03	25481	7	178367
Бесконтактный пускатель реверсивного типа ПБР-2МП	3300	7	23100
Светильник SZ4139 140	9600	1	9600
Механизм электроисполнительный однооборотный МЭО-250/25-0,25-Р-99	16500	7	11500
Горизонтальный центробежный насос MegaСРК	55600	3	166800
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
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 XB5-AVB4	339	13	4407
Реле Finder 40.52.8.230	214	1	214
Реле PLC-RPIT-230UC/21 2900305	250	2	500

Продолжение таблицы 3.2.2.2

Наименование	Цена за ед., руб	Кол-во, шт.	Затраты на оборудование, руб.
Реле PLC-RPIT-24DC/21 290099	311	84	26124
Термореле KTS 1141	3500	1	3500
Вентилятор K5KV12230	2200	1	2200
Выключатель LV426100	10200	3	30600
Ограничитель A9L16339	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	106	38	4028
Переключатель FBS 3-5 3030174	21	25	525
Провод НВ 0.5 4 600 ГОСТ 17515-72	46	300	13800
Провод НВ 1 4 600 ГОСТ 17515-72	54	70	122,5
Провод ПВС 2x1 ГОСТ 7399-97	49	2,5	183
Провод ПВС 3x0.75 ГОСТ 7399-80	61	3	510
Маркировка крепежная ВТ 15/49	51	10	620
Плата ВТ 15/49	62	10	2364
Шина заземления Rittal SZ 2364.000	2364	1	1607
Вставка замка	1607	1	2804
Ручка Rittal SZ 2435.000	2804	1	12900
Профиль Rittal TS 4694.000	2150	6	40200
Зажим кабельный	3350	12	1560
Элемент крепежный	780	2	24130
Заглушка DG 16	1270	19	3300
Кабельный шланг Rittal SZ 2595.000	3300	1	3087,5
Короб монтажный CD 30X80 3240282	325	9,5	1303,5
Рельс монтажный NS 35/7,5 ZN UNPERF 1206434	237	5,5	34800
Итого			2 114 631

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 $Z_{\text{ОСН}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{ДОП}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{\text{ОСН}}$ научного руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ДН}} \cdot T_{\text{РАБ}},$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{ДН}} = \frac{Z_{\text{М}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{М}}$ – 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; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.2.2.3).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{М}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Для научного руководителя:

$$Z_{\text{ДН(НР)}} = \frac{39000 \cdot 10,4}{202} = 1998.$$

Для магистранта:

$$Z_{\text{ДН(М)}} = \frac{16300 \cdot 10,4}{195} = 869.$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 3.2.2.3.

$$Z_{\text{ЗП}} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}},$$

где $Z_{\text{ОСН}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{ДОП}}$ – дополнительная заработная плата (12...20 % от $Z_{\text{ОСН}}$).

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

Таблица 3.2.2.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
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	202	195

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

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

Для научного руководителя:

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

Результаты расчета основной заработной платы исполнителей приведены в таблице 3.2.2.4.

Таблица 3.2.2.4 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	Зб, руб	к _р , руб	З _м , руб	З _{дн} , руб	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.	З _{зп} , руб
Научный руководитель	30000	1,3	39000	1998	27	53946	60959
Магистрант	16300	-	16300	869	83	72127	72127

В таблице 3.2.2.5 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 3.2.2.5 – Заработная плата исполнителей

Заработная плата	Научный руководитель	Магистрант
Основная зарплата, руб.	53946	72127
Дополнительная зарплата, руб.	7012,98	-
Зарплата исполнителя, руб.	60959	72127
Итого		133 086

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.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (133\ 086) = 39\ 925,8 ,$$

где $k_{\text{внеб}}$ – 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 на 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:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,1 \cdot (133\ 086) = 13\ 308,6.$$

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

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:

$$K_{\text{ам}} = \frac{122}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1666 \text{ руб./год.}$$

Полученные результаты расчета затрат на реализацию проекта приведены в таблице 3.2.2.6.

Таблица 3.2.2.6 – Смета затрат

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	36540
Стоимость оборудования	2 114 631
Затраты на заработную плату	133 086
Затраты на социальные отчисления	39 925,8
Накладные расходы	13 308,6
Итого	2 337 491

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

3.2.3 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 3.2.3.1.

Таблица 3.2.3.1– 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.

3.3 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 3.3.1).

Таблица 3.3.1– 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

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

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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{2\,337\,491}{1653044} = 1,41;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{1653044}{1653044} = 1.$$

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:

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

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

Таблица 3.3.2 – 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		

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 3.3.2).

$$I_{\text{рискп1}} = 0,1 \cdot (3 + 5) + 0,05 \cdot 2 + 0,26 \cdot 1 + 0,1 \cdot 2 + 0,004 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 2,28,$$

$$I_{\text{рискп2}} = 0,1 \cdot 12 + 0,05 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,26 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,04 \cdot 3 = 4,16.$$

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 ($I_{\text{испi}}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{рискп1}}}{I_{\text{финр}}}, I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{рискп2}}}{I_{\text{финр}}}.$$

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 3.3.3. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$) рассчитывается по формуле:

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

По результатам таблицы 3.3.3 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.

Таблица 3.3.3 – Сравнительная эффективность вариантов исполнения

Показатели	Исполнения	
	Вода	Огнетушащие составы
Интегральный финансовый показатель разработки	1	1,41
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,28	4,16
Интегральный показатель эффективности	2,28	3,06
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,73	1

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 2 337 491 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 НИИ, 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. В статистических данных о пожарах в РФ за 2019 год указано, что количество пожаров на производственных и 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 НИИ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5БМ13		Курапову Роману Максимовичу	
Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Автоматическая система пожаротушения помещения на базе широкой группы огнетушащих составов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Разработка автоматической системы тушения пожаров помещений лесоматериалов на базе широкой группы огнетушащих составов. Основная область применения – защита производственных помещений и ликвидация пожаров класса Б.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>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).</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Отклонение показателей микроклимата; недостаточная освещенность рабочей зоны; превышение уровня шума; психофизиологическое воздействие на организм человека; повышенная напряженность электрического поля.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на окружающую среду: выделение углекислого газа, сажи, окислов азота; загрязнение гидросферы сточными водами.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Поражение электрическим током; пожаровзрывоопасность.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Курапов Роман Максимович		

4 Социальная ответственность

Темой дипломного проекта является разработка автоматизированной системы пожаротушения тушения помещения на базе широкой группы огнетушащих составов.

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.

4.1. 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 28.04.2023) 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.

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

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).

4.2. 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 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – 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 1.2.3685-21. 2. СП 52.13330.2016. 3. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. 5. ГОСТ 12.1.038–82. 6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123.
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.

4.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Согласно требованиям СанПиН 1.2.3685-21, 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 в новом СанПиН бывают только допустимые. Под воздействием допустимых значений показателей микроклимата работник может ощущать небольшой дискомфорт, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Ухудшение состояния здоровья при этом не возникает.

В таблице 4.2.1.1 представлены допустимые значения показателей микроклимата для теплого периода года (плюс 10 °С и выше) и для холодного периода года для категории работ 1а (работа оператора).

Таблица 4.2.1.1 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата для категории 1а

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	20-21,9	24,1-25	19-26	15-75	0,1	0,1
Теплый	21-22,9	25,1-28	20-29	15-75	0,1	0,2

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 %.

4.2.2 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 1.2.3685-21 и СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».

Согласно действующим санитарным правилам, 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 (освещенность от общего освещения – 400 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 менее 300 лк. Естественное освещение осуществляется через световые проемы в наружных стенах здания (окна) с коэффициентом естественного освещения КЕО 1,2 % и при совместном освещении с КЕО – 2,1.

Освещение рабочего места оператора АСПТ 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 АСПТ соответствует требуемому уровню по Российским нормам в 200...300 лк (согласно СП 52.13330.2016).

4.2.3 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 СанПиН 1.2.3685-21 максимальными уровнями звука А, измеренными с временными коррекциями S и I, являются 110 дБА и 125 дБА соответственно. 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.

4.2.4 Расчет искусственного освещения

Помещение с рабочим местом оператора с размерами - длина $A = 12$ м, ширина $B = 12$ м, высота $H = 6$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м.

Согласно СП 52.13330.2011, требуется создать освещенность $E = 300$ лк.
Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_n = 70 \%$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильники типа ШОД $\lambda = 1,2$ м.

Приняв $h_c = 0,5$ м (свес), получаем

$$h = H - h_{рп} - h_c = 6 - 0,8 - 0,5 = 4,7 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 4,7 = 5,64 \text{ м}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены l :

$$\frac{L}{3} = \frac{5,64}{3} = 1,88 \text{ м}$$

Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$N_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3} * L}{L} + 1 = \frac{12 - \frac{2}{3} * 6.11}{6.11} + 1 \approx 2$$

Количество светильников с люминесцентными рампами определяется по формуле:

$$N_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3} * L}{l + 0.5} + 1 = \frac{12 - \frac{2}{3} * 6.11}{1.6 + 0.5} + 1 \approx 5$$

Общее количество светильников с люминесцентными лампами в помещении определяется по формуле:

$$N_{\text{св}} = n_{\text{ряд}} * n_{\text{св}} = 2 * 5 = 10$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду установить четыре двухламповых светильника ШОД 80 Вт (с длиной $l = 1,53$ м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 25 см.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении:

$$N = 5 \cdot 2 \cdot 2 = 20.$$

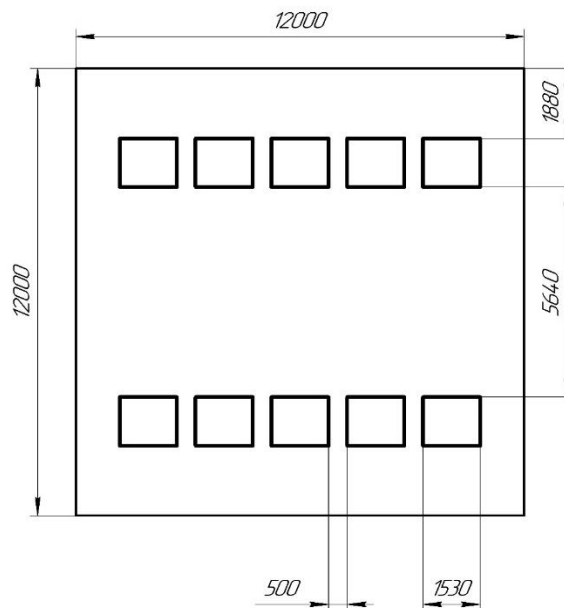


Рисунок 4.2.4.1 – План размещения светильников

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{12 \cdot 12}{4,7 \cdot (12 + 12)} = 1,28$$

Коэффициент использования светового потока (СП 52.13330.2011):

$$\eta = 0,43$$

А теперь находим кол-во ламп N

$$N = (E \cdot S \cdot K_z \cdot Z) / \eta \cdot \Phi = (300 \cdot 144 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / (0,43 \cdot 8000) = 21 \text{ лампа.}$$

Принимаем N = 20 шт.

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равен 1,5;

Z – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчетах берется равным 1,1.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,43} = 8228 \text{ Лм}$$

По таблице 4.1 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 125 Вт с потоком 8150 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

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

$$-10\% \leq \frac{8288 - 8150}{8288} \cdot 100\% = 1,7\% \leq +20\% \text{ - входит в диапазон.}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 125 \cdot 20 = 2500 \text{ Вт.}$$

Выбрана система освещения и источник света, светильники и их размещение. Люминесцентное освещение, двухламповые светильники ШОД-2-80. Светильники расположены в 2 ряда в количестве 8 шт. Выбран тип ламп ЛТБ 125 Вт с потоком 8150 Лм в количестве 16 ламп (напряжение сети 220 В). Проверка выполнения условий выполняется. Электрическая мощность установки $P = 2500$ Вт.

4.2.5 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. Пунктом 249 СП 2.2.3670-20 установлена площадь на одно постоянное рабочее место пользователей персональных компьютеров, к примеру, с использованием компьютеров на базе плоских дискретных экранов площадь одного рабочего места должна быть не менее 4,5 кв.м. Соответственно при

размещении столов с компьютерами, расстояние между мониторами устанавливается с соблюдением площади рабочего места.

4.3 Повышенная напряженность электрического поля

Согласно ГОСТ 12.1.038–82 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, 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 такие средства индивидуальной защиты, как очки, каски, рукавицы, одежда специальная защитная (комплекты для защиты от электрической дуги), предохранительные монтерские пояса. Выбор и установку электрооборудования необходимо выполнять в соответствии с условиями окружающей среды.

4.4 Экологическая безопасность

4.4.1. 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 термостойкости или прорыв трубопровода. 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.

4.4.2. 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.

Утилизация электрооборудования производится в специализированных компаниях. Так же необходимо производить периодический осмотр электромеханического оборудования. Этим можно добиться более продолжительной и безопасной работы оборудования.

4.5 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.

4.5.1 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. Также на данной АСПТ есть опасность поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

4.5.2 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. 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 4.5.2.1) и в доступном месте – пожарный щит.



Рисунок 4.5.2.1 – 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 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 была разработана автоматическая система пожаротушения помещения на основе широкой группы огнетушащих составов. При этом были выполнены базовые стадии проектирования и конструирования системы, а также определены требования к автоматизированной системе контроля технологического процесса и выбрана наиболее подходящая структура системы, благодаря чему разработана необходимая функциональная схема.

Схема, разработанная в результате работы, представляет собой трехуровневую архитектуру, включающую в себя полевой уровень, в который входят датчики для измерения давления, расхода, уровня, концентрации, а также пожарные извещатели и запорная арматура с исполнительными механизмами. На среднем уровне системы располагается контроллер, а на верхнем АРМ оператора. Полученная система разработана с учетом необходимых требований и имеет определенную структуру для эффективного контроля технологических процессов.

При выборе технических средств были использованы каталоги и сайты производителей для разработки системы автоматизации. В перечень технической документации входят принципиальная электрическая и монтажная схемы, заказная спецификация, а также чертеж общего вида щитовой конструкции и описание основных этапов процесса разработки. В процессе была разработана блок-схема алгоритма управления процессом, а также мнемосхема SCADA-системы.

В ходе экспериментов были зарегистрированы условия прекращения термолитиза моделей лесного и торфяного пожара при воздействии различных пожаротушащих веществ: вода, эмульсия пенообразователя (5%), раствор бишофита (10%), раствор ФР-Лес 01 (20%), раствор антипирена (об. 5%), раствор ОС-5 (15%) и суспензия бентонита (5%). В процессе разгорания смоделированных очагов, а также их тушения специализированными

составами на основе воды были зарегистрированы температурные тренды и установлены минимальные объемы огнетушащих составов и время, необходимое для подавления пиролиза. Были определены минимальные плотности орошения модельных лесных и торфяных очагов водными составами с специализированными добавками. По результатам экспериментальной деятельности был сделан вывод об эффективности применения данных добавок при тушении тех или иных пожаров.

Основным преимуществом автоматизированной системы можно считать увеличение эффективности тушения пожаров и скорости локализации возгораний в производственных помещениях. Стоит упомянуть, что система позволяет снизить вредность эксплуатации для рабочего персонала. Также система является альтернативной, благодаря чему может обеспечить наиболее эффективное тушение пожаров в зависимости от интенсивности возгорания и природы горючего вещества. Смеси для пожаротушения показали себя, как экологически чистые вещества, так как добавки (пенообразователь и ОС-5) не оказывают негативного влияния на природу и человека. В качестве преимуществ для социальной сферы можно отметить повышение эффективности тушения пожаров, уменьшение времени тушения, локализации возгораний, и уменьшение материального ущерба для промышленного помещения.

Список публикаций студента

1. Подавление пламенного горения и термического разложения модельного лесного и торфяного пожара составами на основе воды / А. О. Жданова, Н. П. Копылов, Г. В. Кузнецов [и др.] // Физика горения и взрыва. – DOI 10.15372/FGV2022.9292. – EDN PPTCMK.

2. Zhdanova A. O., Islamova A. G., Kurapov R. M., Volkov R. S. Evaporation of Promising Fire Extinguishing Agent Droplets // Forests. - 2023 - Vol. 14 - № 2, Article number 301. - p. 1-15. doi: 10.3390/f14020301

Список использованных источников

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий российской федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году».
2. Терещнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В. Г.В.А. Пожаротушение в промышленных зданиях и сооружениях: Учеб. пособие. 2009. 124 р.
3. Под общей редакцией В.А. Пучкова, Гражданская защита: Энциклопедический словарь, МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015.
4. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (с Изменением N 1), ГОСТ от 12 декабря 1989 года №12.1.044-89, (n.d.).
5. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2), СНиП от 13 февраля *1997 года №21-01-97, СП (Свод правил) от 13 февраля 1997 года №112.13330.2011, (n.d.). <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (accessed February 12, 2021).
6. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1), СП (Свод правил) от 25 марта 2009 года №12.13130.2009, (n.d.). <http://docs.cntd.ru/document/1200071156>.
7. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1) - docs.cntd.ru [Electronic resource].
8. Марасанова К.Н. О проблеме обеспечения пожарной безопасности на объектах транспортировки угля // о жарная и аварийная безопасность Сборник материалов XII международной научно-практической конференции, посвященной году гражданской обороны. 2017. Р. 104–108.

9. Агарков А.В. Об аварийности в угольных шахтах и применении системы дистанционного контроля состава шахтной среды при проведении горноспасательных работ // Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых Сборник научных трудов кафедры разработки месторождений полезных ископаемых по материалам международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2019. Р. 294–313.

10. Пащенко Л.В. Поиск эффективных антиокислителей антиоксидантов предотвращения процесса самовозгорания углей Донбасса // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2020. Vol. 59, № 54–66.

11. Соловян А.В., Теслева Е.П. Решение проблемы самовозгорания бурого угля в ферросплавной промышленности // Экология и безопасность в техносфере современные проблемы и пути решения Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2015. Р. 294–296.

12. Zhang Y., Xu J., Wang D. Experimental study on the inhibition effects of nitrogen and carbon dioxide on coal spontaneous combustion // Energies. 2020. Vol. 13, № 20.

13. Zhang X., Pan Y. Preparation, Properties and Application of Gel Materials for Coal Gangue Control // Energies. 2022. Vol. 15, № 2.

14. Deng J. et al. Experimental studies of spontaneous combustion and anaerobic cooling of coal // Fuel. 2015. Vol. 157. P. 261–269.

15. Wang H. et al. Characteristics of pyrolysis and low oxygen combustion of long flame coal and reburning of residues // Energies. 2021. Vol. 14, № 10.

16. Wu Y. et al. Study on the effect of extraneous moisture on the spontaneous combustion of coal and its mechanism of action // Energies. 2020. Vol. 13, № 8.

17. Fan J., Wang G., Zhang J. Study on spontaneous combustion tendency of coals with different metamorphic grade at low moisture content based on TPO-DSC // *Energies*. 2019. Vol. 12, № 20.
18. Kuznetsov V. et al. Investigation of the processes of spontaneous combustion of brown coal based on a calculation and experimental method // *AIP Conference Proceedings*. 2020. Vol. 2212.
19. Danzi E., Marmo L., Riccio D. Minimum Ignition Temperature of layer and cloud dust mixtures // *J. Loss Prev. Process Ind.* 2015. Vol. 36. P. 326–334.
20. Polka M. et al. Experimental analysis of minimal ignition temperatures of a dust layer and clouds on a heated surface of selected flammable dusts // *Procedia Engineering*. 2012. Vol. 45. P. 414–423.
21. Zhao Q. et al. Suppression characteristics and mechanisms of ABC powder on methane/coal dust compound deflagration // *Fuel*. 2021. Vol. 298.
22. Janès A. et al. Experimental investigation of the influence of inert solids on ignition sensitivity of organic powders // *Process Saf. Environ. Prot.* 2014. Vol. 92, № 4. P. 311–323.
23. Zhou X. et al. Combustible wood dust explosions and impacts on environments and health - A review // *Environ. Res.* 2023. Vol. 216.
24. Santamaría-Herrera A., Hoyuelos F.J., Casado-Marcos C. Characterization of the explosiveness of wood dust // *Process Saf. Environ. Prot.* 2023. Vol. 169. P. 252–259.
25. Zheng L. et al. Inhibiting effect of inhibitors on ignition sensitivity of wood dust // *J. Loss Prev. Process Ind.* 2021. Vol. 70.
26. Zigo J., Rantuch P., Balog K. Experimental analysis of minimum ignition temperature of dust cloud obtained from thermally modified spruce wood // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 919–921. 2057–2060 p.
27. GOST R 50588-2012 Foaming agents for fire extinguishing. General technical requirements and test methods. Standardinform, 2012.
28. GOST 16363-98 Fire protective means for wood. Methods for determination of fire protective properties . Standardinform, 1998.

29. GOST 7759-73 Technical magnesium chloride (bishofit). Specifications. Standardinform, 1991.
30. Shadrina E.M., Volkova G.V. Determination of thermophysical properties of gases, liquids and aqueous solutions of substances. Ivanovo : Ivanovo University of Chemical Technology, 2009. 80 p.
31. Kopylov N.P. et al. Assessment of the fire retardant effect of retardants during the spread of a forest fire due to the transfer of sparks // XXX International Scientific and Practical Conference “Actual problems of fire safety.” Moscow: VNIPO, 2018. P. 186–188.
32. Kopylov N.P., Kuznetsov A.E., Karpov V.N. Research of fire retardant properties of retardant solutions // XXX International Scientific and Practical Conference “Actual problems of fire safety.” Moscow: VNIPO, 2018. P. 181–185.
33. Rabinovich S.G. Measurement errors and uncertainties: Theory and practice // Meas. Errors Uncertainties Theory Pract. Springer New York, 2005. P. 1–308.
34. НПБ 110-03 “Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией.” 2003.
35. СП 5.13130.2009 “Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования” (утв. приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. N 175).
36. ГОСТ 12.3.046-91 УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИЕ [Electronic resource]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294839/4294839031.pdf>.

Приложение А (справочное)

Suppression of flame burning and thermal decomposition of a model forest and peat fire by water-based formulations

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Курапов Роман Максимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Жданова Алена Олеговна	к.ф.-м.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Гончарова Любовь Анатольевна	канд. пед. наук		

1 Research project

Premises (industrial, warehouse) where wood and coal dusts are handled are classified as category B in terms of explosion and fire hazard [1]. Statistics on accidents and fires at coal mining enterprises and during coal transportation and the causes of such incidents are given in [2; 3]. A number of atmospheric factors significantly affects the frequency of appearance endogenous fires, in addition to the composition and properties of coal and carbonaceous rocks, geological and technological conditions. These include relative humidity, precipitation, and thunderstorm discharges, changes in barometric pressure, air temperature, and wind speed. Cracks and punctures formed during an explosion and not eliminated when excavating the loosened rock mass with an excavator bucket multiply the total area of contact with air oxygen, resulting in endogenous fires. The vast majority of fires occur in coal and rock-coal accumulations - piles, scree, dumps, stacks, which in the presence of rock inclusions - especially carbonaceous mudstones and siltstones, as a rule, spontaneously ignite.

The effect of garden industry waste on the process of low-temperature oxidation of metamorphic coals under dynamic oxidation conditions was studied in [4]. 10-15% carbamide solution can be used as antioxidants for the prevention of spontaneous combustion of the most oxygen-active low-metamorphism-prone reduced-type coals, and 10% calcium chloride solution can be used for the prevention of spontaneous combustion of low-metamorphism-prone low-metamorphism coals.

The solution to the problem of spontaneous combustion of brown coal in the ferroalloy industry is presented in [5]. Among the possible ways to solve the problem, the following methods were identified: stacking, compaction, cooling, reduction of storage time, organization of temperature control of stacks, degree of grinding, use of anti-pyrogens, isolation. The most effective way to deal with spontaneous combustion of brown coal in the ferroalloy industry is through the construction of special rooms equipped with cooling and extinguishing systems, as

well as the use of anti-pyrogens. When storing brown coal, it is necessary to follow all stacking rules and maintain constant monitoring of its temperature.

Methods of protection of brown coal during open storage from are described in the articles [6; 7]. Inert gases are used as inhibitors (N_2 and CO_2) [6]. Increasing the concentration of inert gas can gradually reduce the oxidation and combustion rate and improve the self-ignition inhibition effect of coal. Another inhibitor is gel foam in which, after gel formation, bubbles are firmly trapped by a high-viscosity gel film, improving its elasticity, ability to absorb heat and block the flow of oxygen [7]. Such an inhibitor can effectively suppress spontaneous combustion in coal stacks.

An experimental study of spontaneous combustion of coal is shown in [8-10]. Changes in temperature, gas ratio, oxygen consumption rate, and heating intensity were studied. Experimental results show that when coal ignites spontaneously below $70\text{ }^\circ\text{C}$, the temperature slowly increases with time, and the rate of oxygen consumption and temperature and heating intensity slowly increase with and accelerate when the temperature exceeds $100\text{ }^\circ\text{C}$ [8]. Temperature promotes both pyrolysis and low-oxygen combustion reactions, but the low-oxygen combustion reaction is more sensitive to temperature changes and the characteristics of re-ignition become less obvious [9]. Extraneous moisture also plays a role in spontaneous combustion of various grades of coal [10; 11]. At the stage of slow oxidation, extraneous moisture played a physical inhibitory role in the oxidation of coal. At the stage of accelerated oxidation, foreign moisture exerted a catalytic effect on the carbon-oxygen reaction or took a direct part in the reaction.

The results of studying the spontaneous combustion of brown coal based on the calculation and experimental method are presented in the article [12]. A special experimental setup was used to determine the critical conditions of spontaneous combustion and the effective kinetic parameters of the process. The results of the study indicate the influence of particle size on the time of spontaneous combustion and on the rate of coal oxidation. A mathematical model of spontaneous combustion of coal substance is developed. The model uses a spatial non-stationary heat

conduction equation, in which heat release during coal oxidation is taken into account by specifying a heat source based on experimentally obtained kinetic parameters of the spontaneous combustion process - the effective activation energy and the pre-exponential coefficient. Based on the proposed methodology, spontaneous combustion of brown coal during transportation in a gondola car under various environmental conditions was estimated.

The minimum ignition temperatures of dust mixtures obtained as a result of mixing combustible dust (flour, lactose, sucrose, sulfur) and inert dust (limestone, fire extinguishing powders) were obtained in the work [13]. Various mixtures with different weight ratios were tested in a Godbert Greenwald furnace and on a hot plate to measure the effect of the mixture composition on the minimum flash point of the layer and on the minimum flash point of the cloud. To further test the effect of inert dust particle size, inert particles sifted into different size ranges were separately tested. A layer of dust was placed on the hot plate after reaching the set temperature. The ignition criterion was a visible glow or flame, a temperature of 450°C.C in the dust layer, the temperature increases by more than 250°C compared to the temperature set for the hot plate. If no fire occurred within 30 minutes, the experiment was stopped. In the event of ignition, the test was extended until the sample temperature dropped below the plate temperature. Pure flour had a temperature of 390°C (5 mm layer), but ignition was difficult. The flour behaved like a typical charring material: the layer warped and cracked a few minutes after the start of the run. This behavior makes ignition more difficult, as heat transfer from the heating plate is significantly reduced. Flour limestone mixtures do not exhibit this behavior for inert mass fractions up to 40%. Any further increase in the mass fraction of an inert substance leads to a sharp increase in MITL above 400 °C.

The analysis of the minimum ignition temperature of the dust layer and the minimum ignition temperatures of dust clouds was presented in the article [14]. Method A consists in determining the minimum temperature at which dust ignites and / or decomposes on a hot plate at a constant temperature. Method B is used to determine the minimum ignition temperature of a dust cloud or other solid particles.

The minimum ignition temperatures of the dust layer of the dust cloud ignition were obtained.

The works [15; 16] on the peculiarities of extinguishing combustible dust were considered. Thermal decomposition of coal dust and powder ABC They were studied using a simultaneous thermal analyzer in [15]. Experimental results show that the addition of powder ABC increased the initial thermal decomposition temperature of coal dust, which significantly reduced the thermal decomposition rate, heat release, and maximum heat flux. The initial temperature of thermal decomposition was increased by adding powder ABC, and thermal decomposition of coal dust is difficult. When adding powder ABC the brightness of the flame decreased, the flame defect increased, and the speed and temperature of the flame decreased significantly. Deflagration characteristics have been significantly reduced, and the flame cannot maintain effective propagation at 30% powder content ABC. The powder ABC and products of its thermal decomposition absorbed the reaction heat of the deflagration system, and the concentration of combustible matter and oxygen decreased.

Experimental studies of ignition of mixtures of solid inert / combustible powders are presented in [16]. Three inert solids (aluminum oxide, diatomaceous earth, aerosil) and eleven organic powders were considered, and the following parameters were determined: minimum ignition energy, minimum ignition temperature in a cloud, and minimum ignition temperature in a 5 mm thick layer. An increase in the content of an inert solid in the powder leads to a higher minimum ignition energy, as well as higher minimum ignition temperatures in the cloud and in the layer.

Wood dust is a major waste product in the processing of wood and wood panels, including sawing, sanding, chipping, peeling, which easily leads to fire and explosions. In order to better understand and prevent future wood dust explosions, information about accidents at wood processing plants was analyzed in [17; 18]. The risk of ignition is affected by the properties of wood dust (dispersion, wood type) and the environment (temperature, humidity, air flow, equipment condition).

The minimum ignition temperature for the cloud and wood saw layer is one of the main parameters of fire and explosion hazard. The study of the influence of various factors on the increase in the minimum ignition temperature is presented in [19; 20]. Adding various inhibitors (magnesium hydroxide) to wood dust, SiO₂, melamine polyphosphate) at a certain concentration leads to a sharp increase in the ignition temperature [19]. The results of the study [20] show that the minimum ignition temperature of spruce dust gradually decreases as the sample mass and air pressure increase.

Fire extinguishing agents [21-26] are classified into three categories: wetting, fire-retaining, and extinguishing agents. When choosing additives, you should take into account their effectiveness in extinguishing certain categories of substances, as well as the class and complexity of the fire. Practical experience and the results of laboratory and field tests [26] allowed fire-fighting services to determine the most effective compositions according to environmental and economic criteria.

1.1 Experimental methods and materials

For the purpose of experimental determination of the minimum volumes of fire extinguishing compounds required to suppress the combustion of coal and wood dust, an experimental setup was used (Fig. 1). Brown coal and birch of the Tomsk region were used in the experiments. The size of the fuel attachment ($a_f \times b_f$: 5x5 cm) corresponds to an area of 100 cm². The hitch height was $c_f = 3$ cm. The mass of solid combustible material was recorded using an electronic scale (Acom PC-100W, South Korea) with an error of 1 g. The samples were crushed in a high-speed rotary mill Pulverisette 14 (final grinding degree 0.08-6 mm depending on the grinding ring; rotor speed 6000-20000 rpm). To obtain a monodisperse powder, the samples were sieved in an ANALYSETTE 3 SPARTAN vibrating screen (sieving duration 3-20 min, dispersion range 0.02-63 mm, depending on the sieves used). The particle size did not exceed 200 microns.

In real practice of fire extinguishing, suppression of combustion is possible if one of three conditions is met: stopping oxygen access to the combustion zone, reducing temperatures in this zone to the minimum permissible values, and stopping pyrolysis of combustible materials. But the first two conditions must be met within the time limit sufficient for the third condition to be met. Therefore, the first two are of little significance in comparison with the condition for stopping pyrolysis of combustible material. For these reasons, the main characteristics of pyrolysis – the temperature in the layer of combustible material-were the main goal of the experiments. The condition for stopping pyrolysis is to reduce the temperature in the layer of heated material to values lower than the temperature of the beginning of pyrolysis.

The main variable factors in the experiments were the types of fire extinguishing agents, the pulse time (feeding the composition to the surface of the material), and the total time of the experiment.

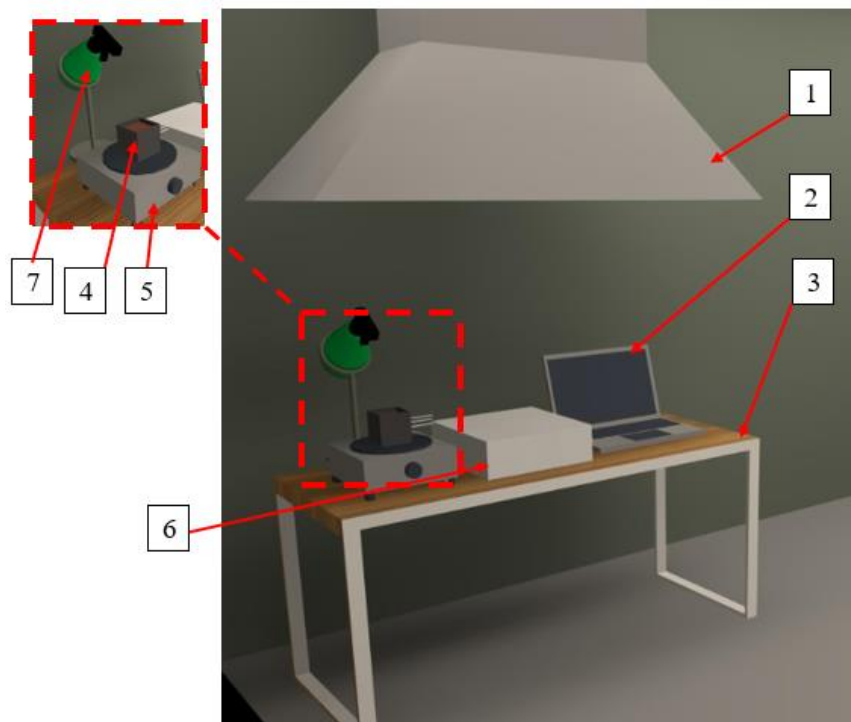


Figure 1-Experimental setup: 1-hood system(exhaust umbrella); 2-laptop; 3-laboratory table; 4-dust mold with thermocouples; 5-electric stove; 6-analog input unit; 7-irrigation system

A mold with dust weighing 30 g coal and 10 g for wood was installed on the electric stove. The temperature of the combustible material was recorded by three K-type chromel-alumel thermocouples (temperature range -50-1200 °C, error ± 3 °C) in three cross-sections: at distances of 5 mm from the mold base, 15 mm and 25 mm. Data from the thermocouples were transmitted (1 s interval) using an analog-to-digital converter MB110 with RS-485 interface to the laptop. Temperature trends were recorded using the "Owen process manager" software, the smouldering of the material was initiated by heating on an electric stove (for $\tau_{if} = 20$ minutes). The exhaust umbrella was used to remove combustion products. A fixed spray gun with a variable irrigation density mode was used to organize the extinguishing of the model hearth.

Mass and volume concentrations of chemical additives to water are selected from typical practical ranges: foaming agent (5% wt.), bischofite (10% wt.), FR-Les 01 (20% wt.), antipyrène (5% vol.). When creating liquid compositions based on water weighing 400 g, we used: 20 g of foaming agent, 20 g of bentonite, 40 g of bischofite, 60 g of OS-5, 80 g of fire extinguishing concentrate "FR-Les 01", respectively. The mass of substances was measured on a scale (VIBRA AJ-420CE, Japan) with an error of 0.001. When creating a liquid composition based on water with a volume of 400 ml, 20 ml of antipyrène was used. The volume of the substance was measured by a measuring flask (1-50-250 ML GOST 1770-74) with a division price of 1 ml. To obtain fire-extinguishing compositions with typical mass and volume concentrations, the extinguishing agents were stirred in water for 5 minutes. Thus, the following extinguishing agents were used: water, foaming agent emulsion (5%), bischofite solution (10%), FR-Les 01 solution (20%), antipyrène solution (5%).

After the start of burning of the material, the process of decomposition suppression was carried out by successive pulses of fire extinguishing agent. The initial temperature of thermal decomposition of dust is set to 100 °C.

Reaching the temperature recorded by each thermocouple in the model focus layer below the temperature of the beginning of thermal decomposition was

considered a necessary and sufficient condition for suppressing the thermal decomposition of the combustible material. The main objectives of the experimental studies were:

- 1) determination of the number of injections (i) that is necessary to suppress smoldering;
- 2) determination of the minimum volumes of fire extinguishing compounds (V_{fec}) required to suppress the combustion of combustible materials;
- 3) determination of the time when the solid fuel suspension temperature reaches less than $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (τ_{sb}) after the last injection of the extinguishing agent.

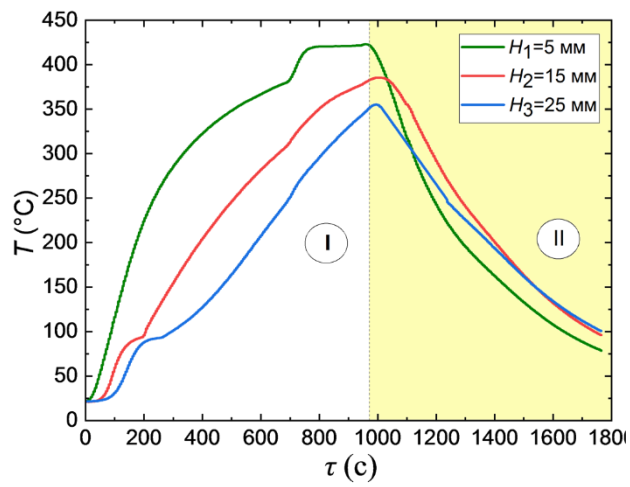
1.2 Results of experimental studies

Determination of necessary and sufficient volumes of fire extinguishing agents. Table 1 shows the average results of experimental studies. Under the conditions of suppressing the decomposition of the suspension with coal and wood dust by the considered fire extinguishing compounds, 10 experiments were carried out with each composition.

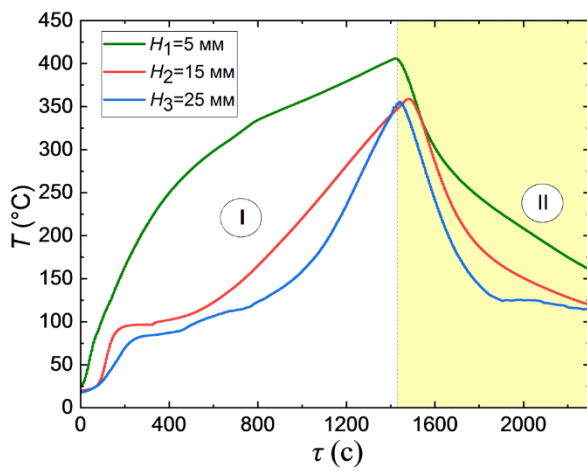
Table 1 - Results of experiments to determine the characteristics of the process of extinguishing a model fire

Fire-extinguishing solution	Coal dust			Birch dust		
	i	V_{fec} , ml	τ_{sd} , s	i	V_{fec} , ml	τ_{sd} , s
Water	20	13	1000	20	13	174
Foaming agent emulsion (wt. 5%)	18	11,7	860	15	9,75	252
Bischofite solution (wt. 10%)	18	11,7	592	8	5,2	282
FR-Les 01 solution (wt. 20%)	15	9,75	880	8	5,2	413
Antipyrène solution (vol. 5%)	16	10,4	845	6	3,9	452
OS-5 solution (15% by weight)	17	11,05	652	8	5,2	296
Bentonite suspension (wt. 5%)	14	9,1	720	6	3,9	287

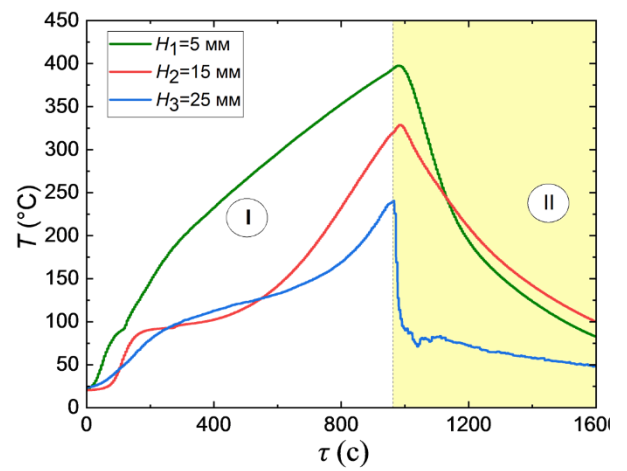
Figure 2 shows typical temperature distributions over the thickness of the coal dust layer over time when extinguishing the hearth with liquid aerosol.



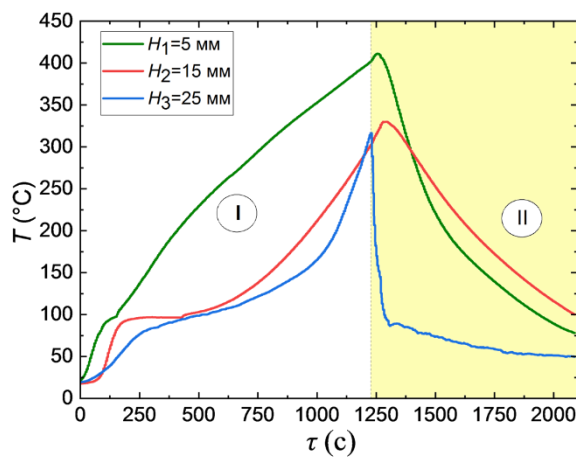
a



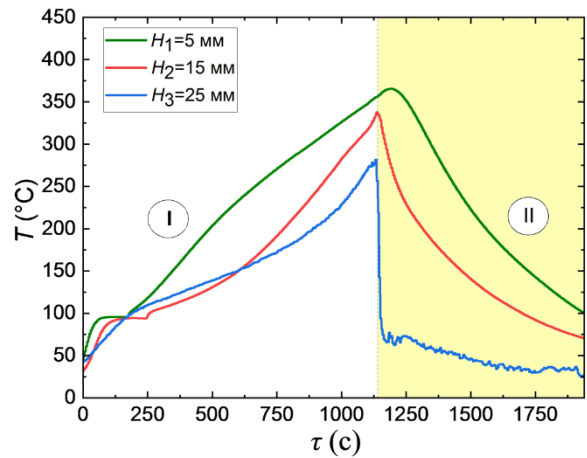
b



c



d



e

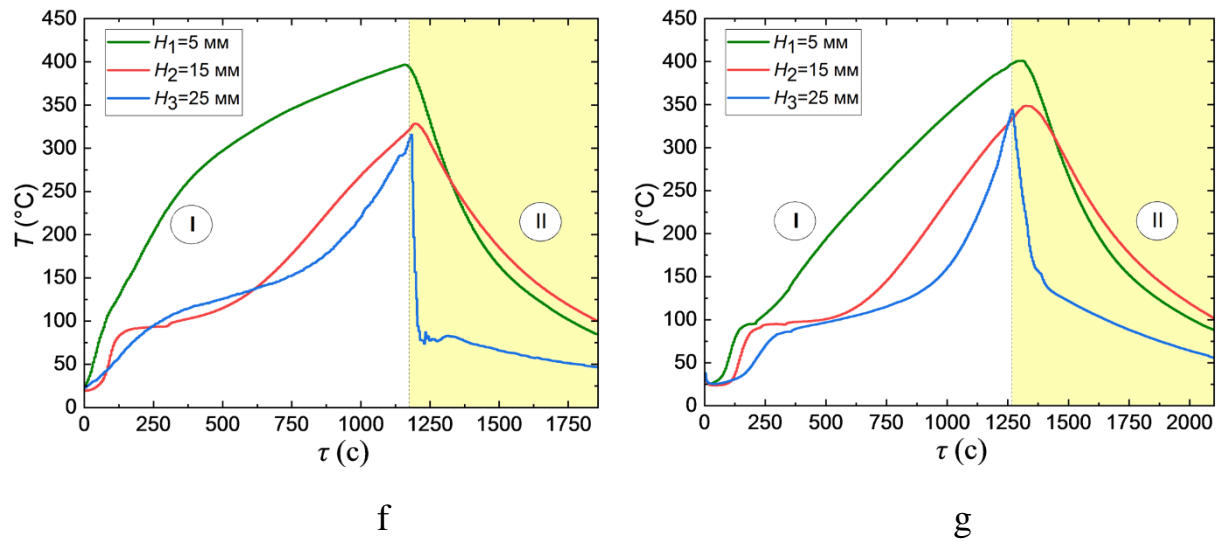
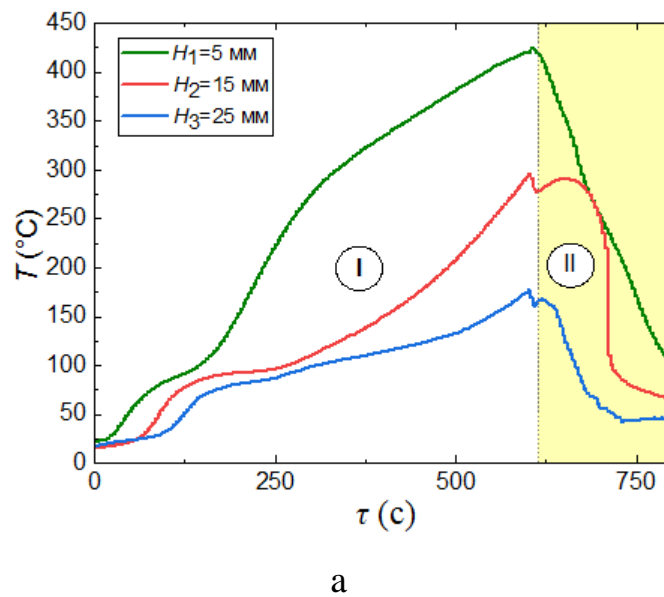


Figure 2-Temperature distributions over the thickness of the coal dust layer over time during extinguishing of the hearth (I– area before extinguishing,II-area with extinguishing): a-water, b – foaming agent emulsion(wt. 5%), c-bischofite solution (wt. 10%), d-FR solution-Forest 01 (wt. 20%), d-retardant solution (vol. 5%), e-OS-5 solution (wt. 15%), g-bentonite suspension (wt. 5%)

Figure 3 shows typical temperature distributions over the thickness of the birch dust layer over time when extinguishing the hearth with a liquid aerosol.



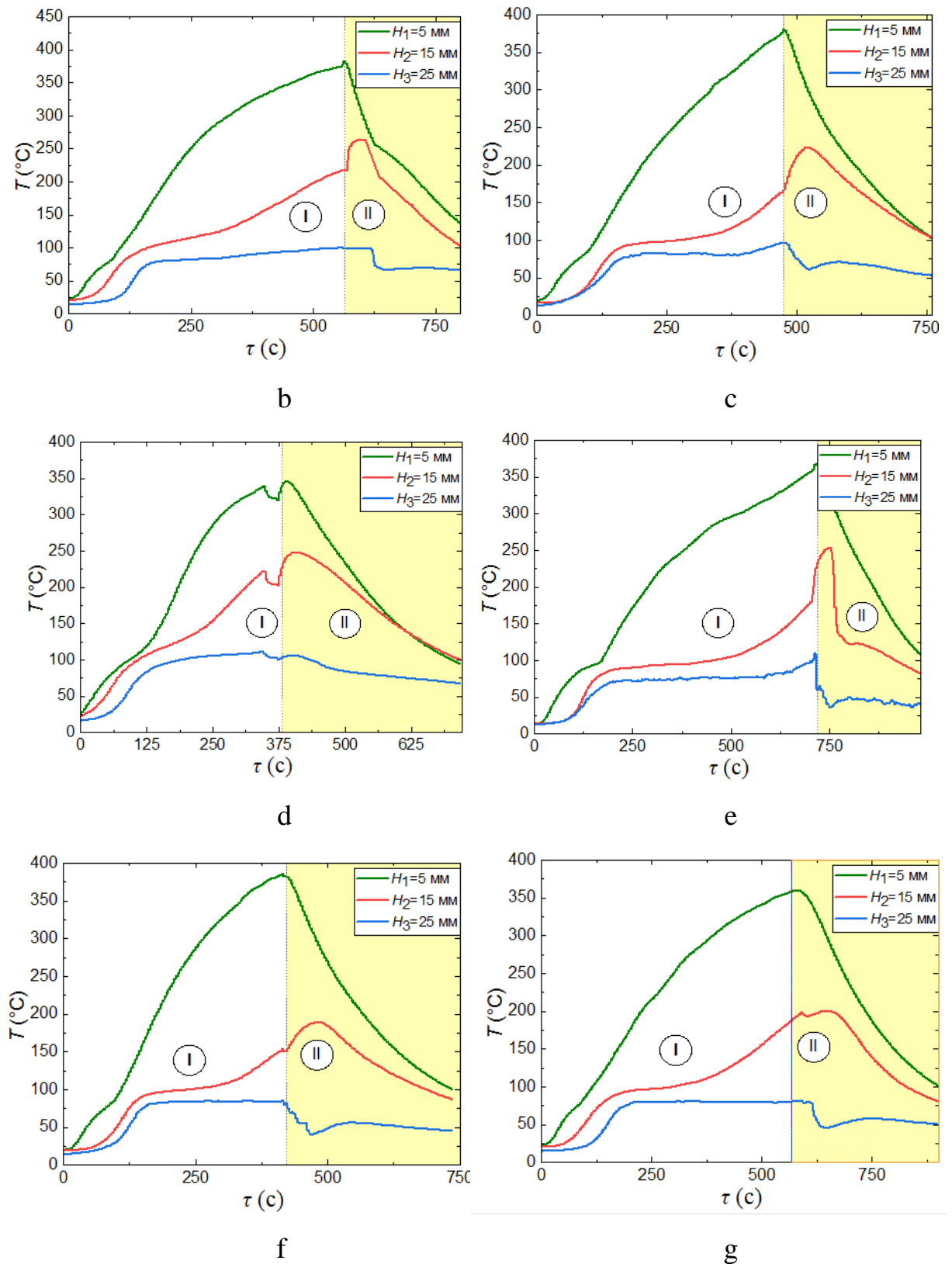


Figure 3-Temperature distributions over the thickness of the dust layer over time during extinguishing the hearth (I – area before extinguishing, II-area with extinguishing): a-water, b – foaming agent emulsion, c-bischofite, d-FR-Forest 01, e-antipyrene, e-OS-5, g – bentonite

1.3 Analysis of research results

Water as a fire extinguishing agent according to the results of experiments showed that to suppress smoldering requires a large volume of liquid ($V_{\text{fec}}=13$ ml). Water spray will evaporate from the surface of the hearth, lowering the temperature of the upper layer. When further sputtering occurs, a thin liquid layer appears in the sample mold, which prevents oxygen from reaching the smoldering front, and the smoldering process stops.

The foaming agent and OS-5 emulsion as a fire extinguishing agent showed good wetting properties due to surfactants. At high surface temperatures of the hearth, a large volume of the composition is required to lower the temperature of the upper layer below the boiling point. Due to the low surface tension, the composition penetrates deeper to the smoldering front, and the upper wet layer slows down the flow of oxygen to the smoldering center. The composition of OS-5 contains anti-pyrogens, which prevent repeated spontaneous combustion of the suspension material.

Compositions based on bischofite, antipyrene, FR-Les and bentonite at the initial stage cools the top layer by evaporation of water. The compounds have increased adhesion and remain on the surface, creating an insulating layer that does not allow oxygen to flow to the smoldering front. The resulting layer will protect you from re-ignition.

Analysis of the results allows us to identify the following compositions in the quenching process: solutions of OS- and bischofite, bentonite. During evaporation, the compositions leave a layer, which in turn prevents the penetration of the oxidizer to the smoldering front, and water lowers the temperature during evaporation. These compounds work effectively with coal and wood dust. Compositions with the addition of antipyrenes and FR-Forest are effective only with wood dust. Coal dust during smoldering begins to emit gases intensively, which leads to a temperature of the upper layer of about 300°C. At this temperature, the compositions with

antipyrene, FR-Forest, foaming agent and water evaporate completely, and the chemical additive burns out completely. These compounds start working only after the temperature of the top layer decreases, and as a result, they require large volumes.

As a result of the performed studies, the main patterns of suppression of the combustion of a model fire of wood and coal dust using modern fire extinguishing additives were established. Based on the results of the experiments performed, the following main conclusions can be drawn:

- solutions of OS-5 and bischofite, bentonite can be effectively used for extinguishing coal dust using small volumes of liquid;
- solutions of OS-5 and bischofite, bentonite, FR-Forest, antipyrene can be effectively used to extinguish wood dust using small volumes of liquid;
- foaming agent solution and water require significantly larger volumes of liquid to effectively extinguish the presented types of dust.

References

1. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij rossijskoj federacii ot chrezvyhajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennoho haraktera v 2021 godu». (in Russian). URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946> (accessed: 20.04.2023)
2. Terebnev V. V., Artem'ev N. S., Podgrushnyj A. V. G.V.A. Pozharotushenie v promyshlennyh zdaniyah i sooruzheniyah: Ucheb. posobie. – 2009. – P.124. (in Russian).
3. Pod obshchej redakciej V.A. Puchkova, Grazhdanskaya zashchita: Enciklopedicheskij slovar // MCHS Rossii. M: 2015. (in Russian).
4. GOST 12.1.044-89 (ISO 4589-84) Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. (in Russian).
5. SNiP 21-01-97* Pozharnaya bezopasnost' zdaniy i sooruzhenij (s Izmeneniyami N 1, 2). (in Russian). URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (accessed: 20.04.2023).
6. SP 12.13130.2009 Opredelenie kategorij pomeschenij, zdaniy i naruzhnyh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti. (in Russian). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (accessed: 20.04.2023).
7. SP 12.13130.2009 Opredelenie kategorij pomeschenij, zdaniy i naruzhnyh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti (s Izmeneniem N 1). (in Russian). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071157> (accessed: 20.04.2023).
8. Marasanova, K.N. O probleme obespecheniya pozharnoj bezopasnosti na ob"ektah transportirovki uglya // Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost. – 2017. – P. 104-108. (in Russian).
9. Agarkov, A.V. Ob avarijnosti v ugol'nyh shahtah i primenenii sistemy distancionnogo kontrolya sostava shahtnoj sredy pri provedenii gornospatel'nyh rabot // Innovacionnye tekhnologii razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. – 2019. – P. 294–313. (in Russian).
10. Pashchenko, L.V. Poisk effektivnyh antiokislitelejantioksidantov

predotvrashcheniya processa samovozgoraniya uglej Donbassa // Sbornik nauchnyh trudov Doneckogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. – 2020. – V. 59, – № 54. (in Russian).

11. Solovyan, A.V., Tesleva, E.P. Reshenie problemy samovozgoraniya burogo uglya v ferrosplavnoj promyshlennosti // Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere sovremennye problemy i puti resheniya Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov. – 2015. – P. 294–296. (in Russian).

12. Zhang, Y., Xu, J., Wang, D. Experimental study on the inhibition effects of nitrogen and carbon dioxide on coal spontaneous combustion // Energies. – 2020. – V. 13, – № 20.

13. Zhang, X., Pan, Y. Preparation, Properties and Application of Gel Materials for Coal Gangue Control // Energies. – 2022. – V. 15, – № 2.

14. Deng, J. et al. Experimental studies of spontaneous combustion and anaerobic cooling of coal // Fuel. – 2015. – V. 157. – P. 261–269.

15. Wang, H. et al. Characteristics of pyrolysis and low oxygen combustion of long flame coal and reburning of residues // Energies. – 2021. – V. 14, – № 10.

16. Wu, Y. et al. Study on the effect of extraneous moisture on the spontaneous combustion of coal and its mechanism of action // Energies. – 2020. – V. 13, – № 8.

17. Fan, J., Wang, G., Zhang, J. Study on spontaneous combustion tendency of coals with different metamorphic grade at low moisture content based on TPO-DSC // Energies. – 2019. – V. 12, – № 20.

18. Kuznetsov, V. et al. Investigation of the processes of spontaneous combustion of brown coal based on a calculation and experimental method // AIP Conference Proceedings. – 2020. – V. 2212.

19. Danzi, E., Marmo, L., Riccio, D. Minimum Ignition Temperature of layer and cloud dust mixtures // J. Loss Prev. Process Ind. – 2015. – V. 36. – P. 326–334.

20. Polka, M. et al. Experimental analysis of minimal ignition temperatures

of a dust layer and clouds on a heated surface of selected flammable dusts // *Procedia Engineering*. – 2012. – V. 45. – P. 414–423.

21. Zhao, Q. et al. Suppression characteristics and mechanisms of ABC powder on methane/coal dust compound deflagration // *Fuel*. – 2021. – V. 298.

22. Janès, A. et al. Experimental investigation of the influence of inert solids on ignition sensitivity of organic powders // *Process Saf. Environ. Prot.* – 2014. – V. 92, – № 4. – P. 311–323.

23. Zhou, X. et al. Combustible wood dust explosions and impacts on environments and health - A review // *Environ. Res.* – 2023. – V. 216.

24. Santamaría-Herrera, A., Hoyuelos, F.J., Casado-Marcos C. Characterization of the explosiveness of wood dust // *Process Saf. Environ. Prot.* 2023. – V. 169. – P. 252–259.

25. Zheng, L. et al. Inhibiting effect of inhibitors on ignition sensitivity of wood dust // *J. Loss Prev. Process Ind.* – 2021. – V. 70.

26. Zigo, J., Rantuch, P., Balog K. Experimental analysis of minimum ignition temperature of dust cloud obtained from thermally modified spruce wood // *Advanced Materials Research*. – 2014. – V. 919-921. – P. 2057–2060.