

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  
 ООП Автоматизация теплоэнергетических процессов  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н.Бутакова

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
АСПТ жилого помещения на базе интеллектуального алгоритма обратной связи

УДК 681.5:614.841.46:004.31

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Свириденко Александр Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель 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»**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	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
<b>ПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
<b>ПК(У)-3</b>	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
<b>ПК(У)-4</b>	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
<b>ПК(У)-5</b>	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<b>ПК(У)-6</b>	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
<b>ПК(У)-7</b>	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
<b>ПК(У)-8</b>	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 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ П.А. Стрижак

(Подпись) (Дата)

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Свириденко Александр Сергеевич

Тема работы:

АСПТ жилого помещения на базе интеллектуального алгоритма обратной связи	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 41-33/с от 10.02.2023 г.

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

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом автоматизации является система пожаротушения жилого комплекса. При разработке системы использовать современные микропроцессорные средства автоматизации для контроля за процессом тушения. Для выбора наиболее эффективных схем расположения технических средств, необходимой и достаточной для обнаружения возгорания на ранних стадиях целесообразно проведение экспериментальных исследований характеристик срабатывания технических средств обнаружения пожара при различных механизмах нагрева.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Научно-исследовательская работа. 2. Проектирование автоматизированной системы пожаротушения. 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 4. Социальная ответственность.
<b>Перечень графического материала</b>	1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Схема принципиальная электрическая. 4. Схема монтажная. 5. Общий вид щита управления. 6. Сборочный чертеж щита управления

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Иностранный язык	Гончарова Любовь Анатольевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Введение, научно-исследовательская работа (Implementation and experimental research and design of automated control systems for residential buildings)	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.02.2023 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ13	Свириденко Александр Сергеевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 108 страниц, 6 рисунков, 33 таблицы, 42 источника, 3 приложения, 6 листов графического материала.

Ключевые слова: автоматическая система пожаротушения, программируемый логический контроллер, нейронная сеть, схемная и конструкторская документация.

Объектом автоматизации является система пожаротушения жилого комплекса.

Цель работы – разработка автоматической системы пожаротушения жилого помещения на базе интеллектуального алгоритма обратной связи при задействовании широкой группы специализированных газоаналитических и пожарных извещателей, экспериментальное определение характеристик срабатывания технических средств обнаружения пожара при различных механизмах нагрева, приводящих к пиролизу и последующему пламенному горению типичных для помещений материалов, а также поиск наилучшей комбинации технических средств, необходимой и достаточной для обнаружения возгорания на ранних стадиях.

При выполнении работы использовались следующие программные обеспечения: Microsoft Office, Microsoft Visio, OrigiPro, Simple-SCADA.

В результате выполнения магистерской диссертации разработана автоматическая система пожаротушения жилого помещения на базе интеллектуального алгоритма обратной связи при задействовании широкой группы специализированных газоаналитических сенсоров и пожарных извещателей.

## Оглавление

Введение .....	10
1 Научно-исследовательская работа.....	13
1.1 Экспериментальная методика.....	13
1.2 Материалы и характеристики .....	17
1.3 Характеристики срабатывания пожарных извещателей.....	18
1.4 Обобщение результатов экспериментов.....	22
2 Проектирование автоматической системы пожаротушения .....	25
2.1 Системный анализ объекта автоматизации.....	25
2.2 Разработка структуры КТС автоматической системы управления .....	26
2.2.1 Основные требования к АСПТ .....	27
2.3 Разработка функциональной схемы системы управления.....	28
2.4 Выбор технических средств автоматизации .....	30
2.4.1 Выбор датчика уровня .....	30
2.4.2 Выбор датчика давления .....	31
2.4.3 Выбор датчика расхода .....	32
2.4.4 Выбор насосного оборудования .....	33
2.4.5 Выбор пожарного дымового извещателя .....	33
2.4.6 Выбор пожарного теплового извещателя.....	34
2.4.7 Выбор стационарных газоанализаторов .....	35
2.4.8 Выбор ручного пожарного извещателя .....	36
2.4.9 Выбор звуковой сигнализации .....	36
2.4.10 Выбор исполнительного механизма .....	37
2.4.11 Выбор блока управления исполнительным механизмом .....	38
2.4.12 Выбор программируемого логического контролера.....	38
2.5 Проектирование схемы внешних проводок .....	39
2.6 Разработка схемы электрической соединений щита управления .....	40
2.7 Разработка сборочного чертежа и общего вида щита управления.....	40
2.8 Разработка математического, программного и информационного обеспечений .....	41
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	47
3.1 Предпроектный анализ.....	47
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	47
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	48

3.1.3 SWOT- анализ.....	49
3.2 Планирование комплекса работ НИР.....	52
3.2.1 Составление перечня проводимых работ .....	52
3.2.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	54
3.2.3 Потенциальные риски.....	60
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
4 Социальная ответственность.....	68
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	69
4.2. Производственная безопасность.....	72
4.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	72
4.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	73
4.2.3 Превышение уровня шума .....	75
4.2.4 Психофизиологическое воздействие на организм человека .....	75
4.2.5 Повышенная напряженность электрического поля.....	76
4.2.6 Расчет системы искусственного освещения.....	77
4.3 Экологическая безопасность.....	81
4.3.1. Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду .....	81
4.3.2. Решения по обеспечению экологической безопасности.....	81
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
4.4.1 Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения .....	82
4.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.....	83
Заключение.....	85
Список использованных источников .....	86
Приложение А.....	91
Приложение Б .....	92
Приложение В.....	93

Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.019 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.019 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.019 СО1	Заказная спецификация приборов и средств



	автоматизации
ФЮРА.421000.019 Э4	Схема электрическая соединений щита управления
ФЮРА.421000.019 ПЭ4	Перечень элементов схемы электрической Соединений щита управления
ФЮРА.421000.019 С5	Схема монтажная
ФЮРА.421000.019 ВО	Общий вид щита управления
ФЮРА.421000.019 СБ	Сборочный чертеж щита управления
ФЮРА.421000.019 СП	Спецификация оборудования и материалов щита управления

## Введение

Своевременное обнаружение возгорания на ранней стадии является ключом к успешной локализации и ликвидации пожара, а также сохранению человеческих жизней и материальных ресурсов [1-5]. Статистика [6] показывает, что в России за 2021 год зарегистрированы 439394 пожара, в которых погибли 8313 человек, а также 8434 человека получили травмы. При этом на пожары в зданиях и сооружениях приходится более 90% погибших людей и более 80% травмированных [6]. Особенности возникновения, развития и протекания пожара зависят от совокупности факторов, среди которых основными считаются тип и характеристики материалов и веществ. Горючие вещества разделяются на [7]: газы, пары, жидкости, твёрдые материалы, аэрозоли. Как правило, большинство производственных и жилых помещений относится к категории “А” по взрывопожарной опасности [8]. В помещениях категории “А” к основным твердым [7] материалам относятся: древесина различных пород, бумажная продукция (картон, бумага), линолеум и др. Наиболее типичными причинами возгораний в помещениях являются [6]: неосторожное обращение с огнём, короткое замыкание в электрических сетях, нарушение правил и эксплуатации нагревательного оборудования. По данным МЧС России [6] на долю неосторожного обращения с огнём приходится более 70% всех пожаров, аварийного режима работы электрического оборудования и сетей 12%, нарушения правил эксплуатации нагревательного оборудования около 6%. Основным направлением борьбы с пожарами в помещениях является своевременное обнаружение возгорания и оповещение о его возникновении.

Важной проблемой при эксплуатации современных систем пожаротушения [9] является чрезмерное заливание помещения огнетушащим составом (в частности, водой) в ходе тушения пожара, что влечёт за собой, как правило, большой экономический ущерб. В целях уменьшения такого ущерба в последнее время активно разрабатываются адаптивные автоматические системы пожаротушения с обратной связью [10–13], позволяющие минимизировать риски и убытки за счет мониторинга ситуации, связанной с

пожаром, в режиме реального времени. Так, например, известна [10] система адресного пуска, которая позволяет идентифицировать зону зарождения пожара и включить целенаправленно единичные или группу спринклеров для ликвидации очага возгорания. В [11] предложена система обнаружения токсичных газов с помощью датчиков, которая позволяет активировать систему пожаротушения на ранних стадиях возникновения и развития пожара. Проанализирована специфика горения деревянных конструкций в помещениях [12]. В [13] представлена интеллектуальная система обнаружения и тушения пожара, способная в режиме реального времени обеспечивать пожарную безопасность при различных видах возгорания. Разработанные программно-аппаратные решения [10–13] позволяют существенно оптимизировать реагирование систем пожаротушения при выявлении возгорания. Но данные решения не являются универсальными для всей совокупности потенциальных источников пожарной опасности. Последние характеризуются разными временными и тепловыми условиями развития пожаров от начала процесса термического разложения нагреваемых материалов. Как следствие, актуальна задача выполнения сравнительного анализа характеристик работы наиболее перспективных сенсоров регистрации горения (пожарной опасности) веществ и материалов при наличии выделенных выше наиболее распространенных потенциальных источников пожарной опасности [14, 15].

Наряду с этим не менее актуальным направлением исследований является использование систем идентификации возгораний, базирующихся на средствах видеонаблюдения [16–19], а также современных газоаналитических сенсорах [15, 20]. Сравнение быстродействия упомянутых методов идентификации возгораний с типичными серийно выпускаемыми пожарными сенсорами, очевидно, может способствовать более ранней идентификации пожара и, как следствие, снизить или устранить нежелательный эффект, связанный с чрезмерным заливанием помещения водой (при использовании технологий распыления мелкодисперсной огнетушащей жидкости), что влечет за собой существенные материальные потери. До настоящего времени эксперименты проводились в основном с открытыми источниками огня. Результаты прямого

моделирования процессов возгорания при воздействии двух других факторов крайне мало.

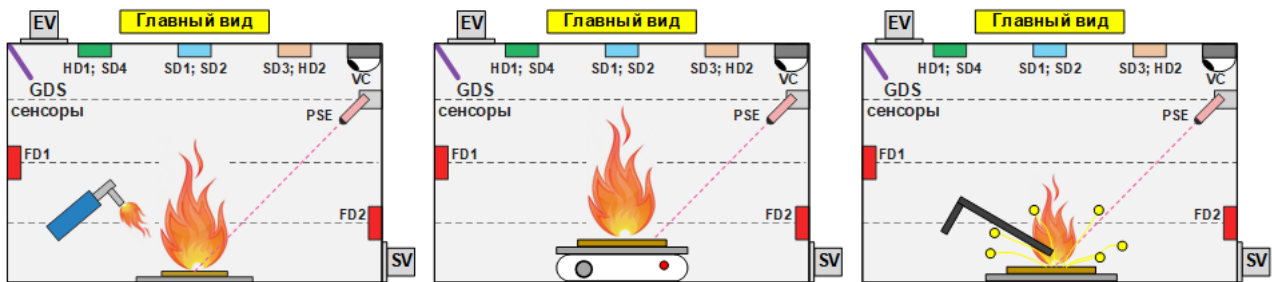
Цель работы – разработка автоматической системы пожаротушения жилого помещения на базе интеллектуального алгоритма обратной связи. Для достижения данной цели предлагается использовать широкую группу специализированных газоаналитических сенсоров и пожарных извещателей. Основной задачей экспериментальной части данной работы является определение характеристик срабатывания технических средств обнаружения пожара при различных механизмах нагрева, приводящих к пиролизу и последующему пламенному горению типичных для помещений материалов. Также в рамках работы будет проведен поиск наилучшей комбинации технических средств, необходимой и достаточной для обнаружения возгорания на ранних стадиях. Учитывая значимость данной работы, особое внимание уделяется обзору литературных источников и анализу существующих на рынке решений в области пожаротушения. В результате выполнения работы планируется создание инновационного продукта, способного повысить уровень безопасности жилых помещений.

# 1 Научно-исследовательская работа

## 1.1 Экспериментальная методика

При проведении экспериментальных исследований воспроизводились условия, соответствующие трем наиболее частым причинам задымлений и возгораний в помещениях. Для воспроизведения потенциальных источников пожарной опасности в рамках проведения экспериментальных исследований использовались: газовая горелка, инверторный сварочный аппарат, нагревательная плита.

На рисунке 1.1.1 приведена схема и внешний вид экспериментального комплекса, который представлял совокупность элементов и устройств, предназначенных для физического моделирования начальной стадии пожара в помещении с целью определения характеристик идентификации, локализации и ликвидации возгораний типичных для замкнутых помещений горючих материалов. Использовались модельные очаги класса “А”, сформированные из типичных для помещений горючих материалов (п. 1.2).



*a*



б

Рисунок 1.1.1 - Иллюстрация трех различных режимов инициирования процесса зажигания модельного очага (а), а также внешний вид основных элементов комплекса (б)

Экспериментальный комплекс (рисунок 1.1.1) состоял из огнеупорного корпуса стенда, щита автоматики, регистрирующих устройств (ДАИМ, FACD) и технических средств: термопары (ТС), высокоскоростной пирометр, система газоанализа (GDS), датчики пламени (FD), тепловые датчики (HD), дымовые датчики (SD), высокоскоростная камера (VC), персональный компьютер (PC)

для сбора и записи информации о характеристиках процессов начала горения, тушения пожара, а также регистрации сигналов с установленных во внутренней полости огнеупорного стенда пожарных извещателей. Огнеупорный стенд (рисунок 1.1.1) представляет полый параллелепипед размерами 1,5×1×1,25 м (Г×Ш×В). Грани стенда изготовлены из негорючего стекломagneзитового листа (толщиной 10 мм). На одной из боковых граней расположено смотровое окно размерами 0,7×0,8 м, выполненное из огнеупорного стекла толщиной 4 мм (рисунок 1.1.1 а). Для продувки (дымоудаления) полости стенда последний снабжен каналами цилиндрической формы приточной и вытяжной вентиляции диаметром 120 мм. Канал приточной вентиляции (SV) смонтирован в нижней боковой поверхности стенда, канал вытяжной вентиляции (EV) – с противоположной стороны в верхней части стенда (рисунок 1.1.1 а, б). Во избежание притока воздуха, а также оттока продуктов сгорания во время проведения эксперимента каналы SV и EV дополнительно комплектовались шибберными герметичными задвижками. Во внутренней полости стенда размещались (рисунок 1.1.1 а, б): точечные детекторы (FD, HD, SD, TC) для идентификации характеристик очага пожара и момента начала возгорания; сенсоры GDS для контроля компонентного состава образующихся продуктов термического разложения и окисления горючих материалов, VC для регистрации видеogramм процесса горения.

GDS состояла из промышленных (Testo-340 и Сенсон-СВ-5023) и лабораторного (Тест-1) газоанализаторов, зонды которых размещались во внутренней полости стенда (рисунок 1.1.1 б). С использованием GDS регистрировалась динамика изменения концентрации CO, CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в процессе пиролиза и горения модельных очагов. GDS соединялась с PC через USB интерфейс. Данные о концентрациях газов, а также показаниях пожарных извещателей при помощи программных обеспечений “Тест”, “EasyEmission” и “ОРМ” сохранялись на PC, где выполнялась их обработка и последующий анализ.

Воспроизводились условия интенсивного термического разложения и возгораний при наличии трех источников пожарной опасности, описанных ниже.

1. *Газовая горелка.* В ходе эксперимента был использован модельный очаг, сделанный из горючего материала в соответствии с пунктом 1.2. Для размещения этого очага был использован металлический поддон размерами 30×20 см, расположенный в нижней части полости стенда по центру в соответствии с рисунком 1.1.1 а. В целях обеспечения одинакового распределения тепла, газовая горелка применялась для равномерного разжигания очага на всей его поверхности. Время зажигания было разнообразным и зависело от размеров очага, связанных с массой горючего материала. Продолжительность зажигания изменялась в широком диапазоне – от 10 до 90 секунд. Минимальное время зажигания было достигнуто при использовании для создания очага бумаги, а максимальное - при использовании древесины.

2. *Нагревательная плита.* Модельный очаг размещался на металлической пластине (размерами 15×15 см). Пластина помещалась на заранее нагретой (до определенной температуры  $T_s$ ) нагревательной поверхности плиты, которая располагалась в нижней части (основании) по центру полости экспериментального стенда (рисунок 1.1.1 а).

3. *Сварочный аппарат.* Модельный очаг устанавливался на металлическую пластину (размерами 30×30 см), расположенную в нижней части (основании) по центру полости стенда (рисунок 1.1.1 а). Выставлялось требуемое значение тока короткого замыкания на выходе инвертора. Инициировался кратковременный контакт электрода сварочного аппарата с металлическим поддоном, приводящий к локальному нагреву и образованию искр, подобный процессам, протекающим при коротком замыкании линий электропередач.

Для каждого типа горючего материала и схемы инициирования горения регистрировались: температура поверхности реагирующих материалов в составе модельного очага ( $T_f$ ), температура ( $T$ ) в разных точках внутренней



полости стенда, концентрации компонентов CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> в фиксированных точках полости экспериментального стенда, времена ( $t_D$ ) задержки срабатывания и особенности функционирования пожарных извещателей в условиях развития пожара.

## 1.2 Материалы и характеристики

В экспериментах исследовались процессы горения и тушения модельных очагов пожара класса “А”. Для изготовления модельных очагов использовались наиболее типичные для большинства помещений (жилые, складские, офисные) горючие материалы: древесные бруски, линолеум на теплоизолирующей подложке, картон, бумага. Характеристики типичных рассмотренных горючих материалов приведены в таблице 1.2.1.

Таблица 1.2.1 - Характеристики использованных в экспериментах горючих материалов.

Материал	Характеристики
Древесина сосны	<p>Плотность сосны составляет 520 кг/м<sup>3</sup> при влажности 12-15%. Общая теплота сгорания древесины сосны составляет 4,4 ккал/кг.</p> <p>При горении древесины образуется водяной пар, теплота, двуокись и окись углерода, а также альдегиды, кислоты и различные газы.</p>
Гофрированный картон	<p>В значительной степени состоит из вторсырья (полуцеллюлоза, солома, макулатура и т. п.). Оставшуюся часть занимают первичный целлюлозные волокна.</p>
Линолеум на тканевой основе	<p>Линолеум, изготовленный на тканевой основе, является поливинилхлоридным с добавлением пластификаторов, наполнителей и красителей. Качественный материал не поддерживает активного процесса горения.</p> <p>При горении поливинилхлорида основным продуктом сгорания является хлористый водород.</p>

Площадь модельных очагов в проведенных экспериментах изменялась в диапазоне  $S_f = 5-300 \text{ см}^2$ , масса очага варьировалась в интервале  $m_f = 2,5-90 \text{ г}$ . Данные диапазоны достаточны для экстраполяции результатов исследований на очаги возгораний различных размеров. Конечные значения параметров  $S_f$  и  $m_f$  зависели от типа материала, а также особенностей процедуры инициирования возгорания, локализации и тушения очагов.

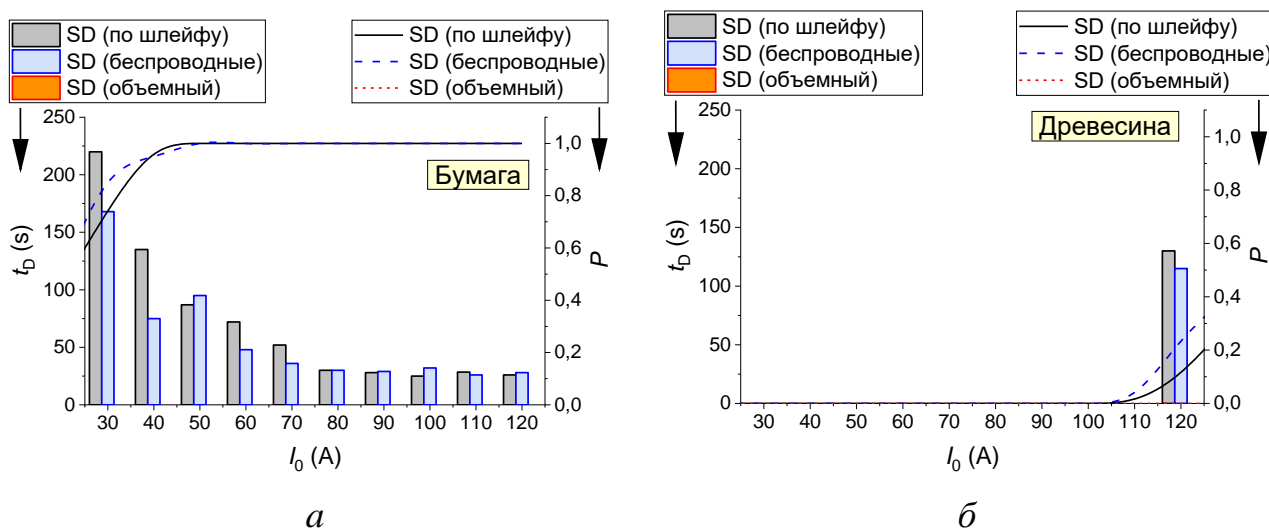
### 1.3 Характеристики срабатывания пожарных извещателей

На рисунке 1.3.1 приведены значения времени задержки и относительной частоты срабатывания SD в зависимости от силы тока короткого замыкания при воспроизведении условий нарушения правил эксплуатации и аварийного режима работы электрического оборудования и сетей (с применением сварочного аппарата). Итоговая частота срабатывания каждого типа датчиков рассчитывалась как среднее арифметическое значение частоты срабатывания датчиков в каждом эксперименте:

$$P = (P_1 + P_2 + \dots + P_j) / j. \quad (1)$$

Относительная частота срабатывания датчиков в каждом отдельном эксперименте определялась как отношение числа сработавших датчиков к общему числу датчиков:

$$P_j = n_a / n_D. \quad (2)$$



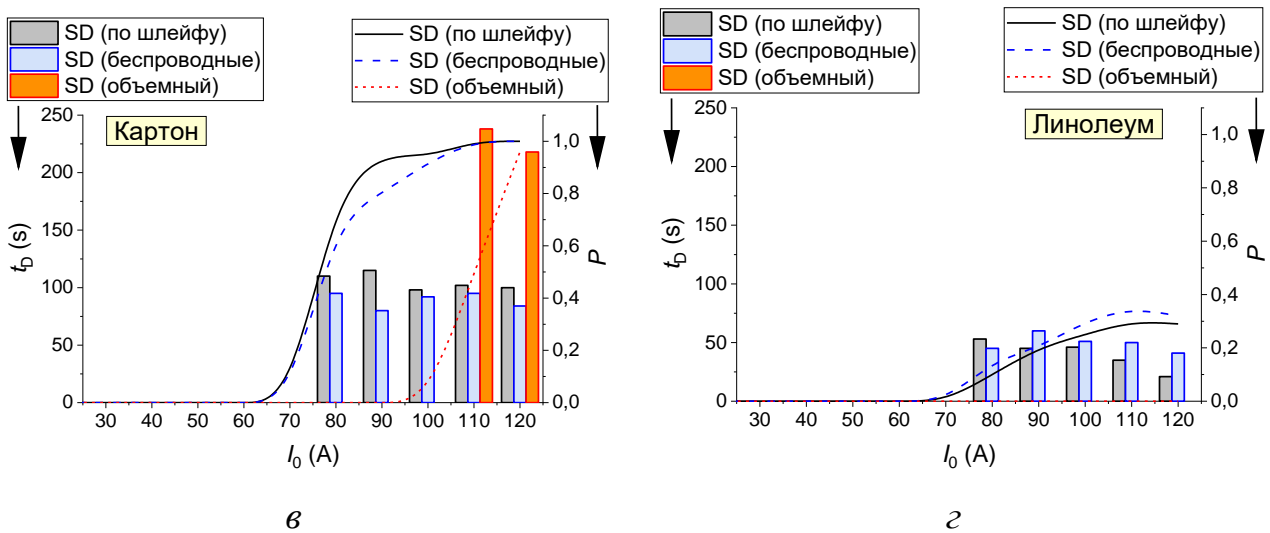
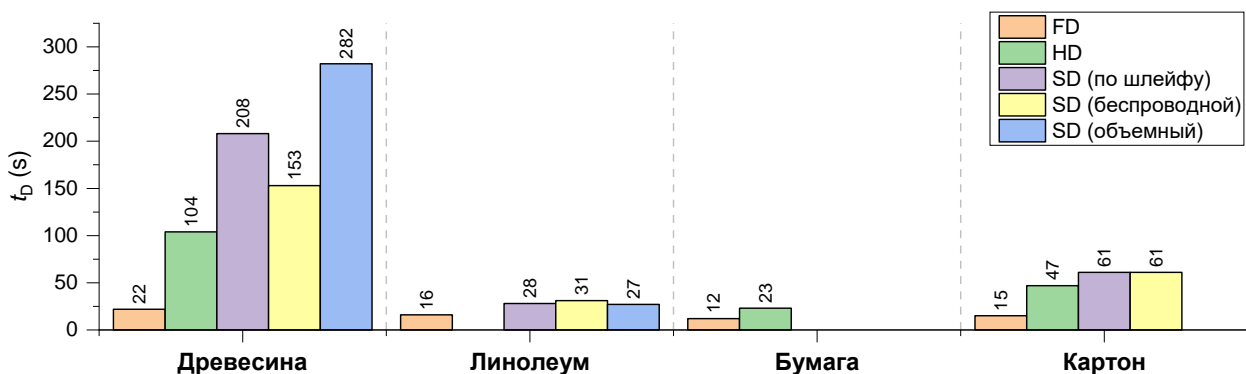
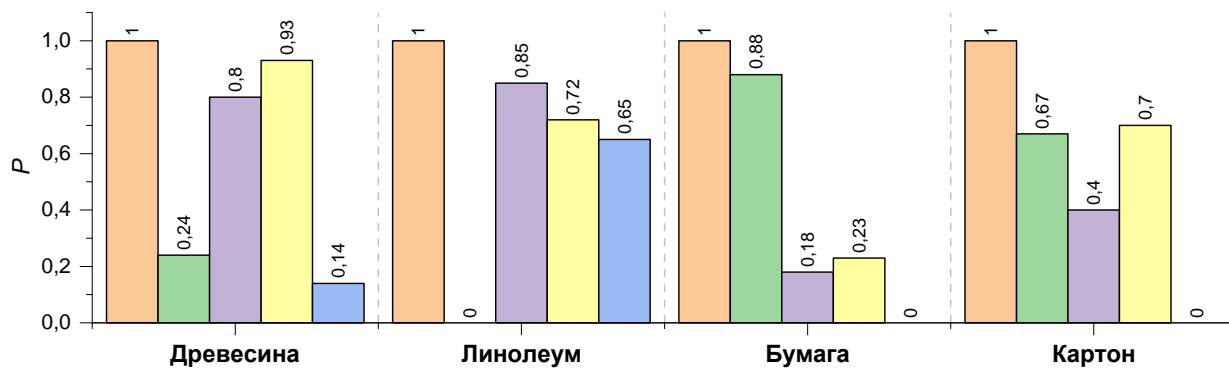


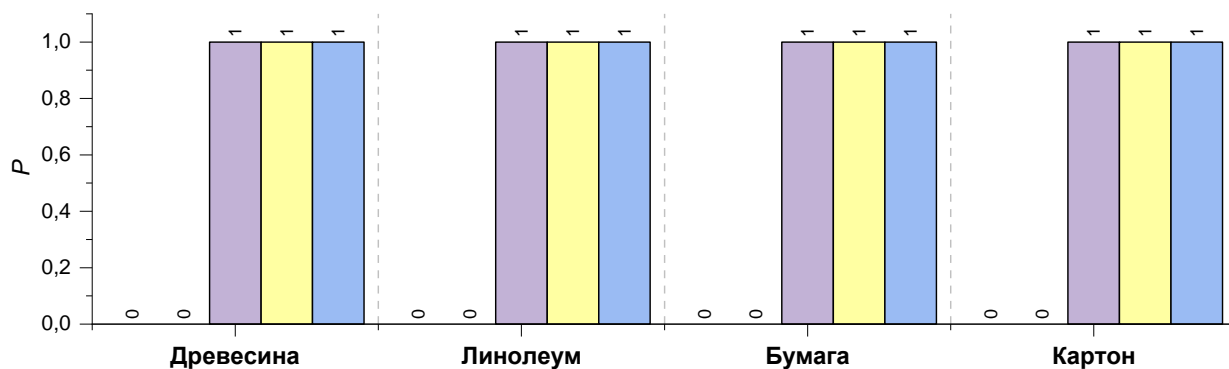
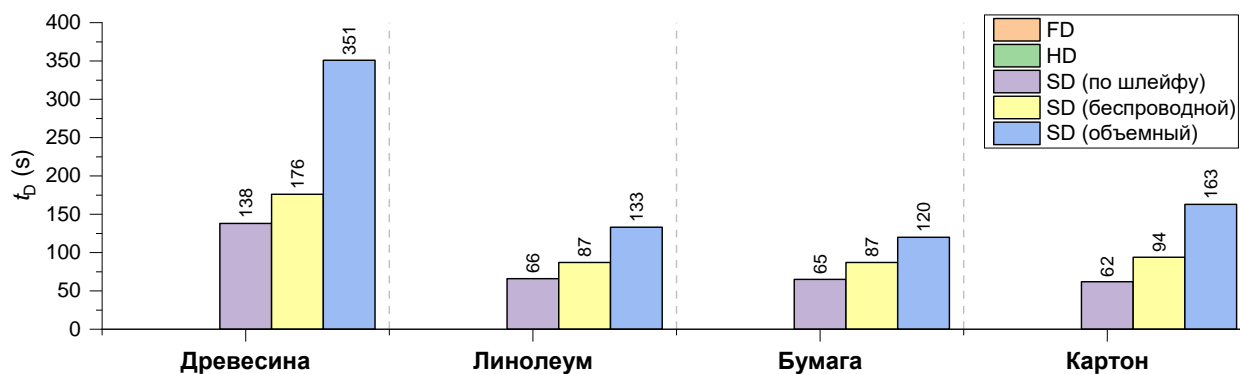
Рисунок 1.3.1 - Времена задержки и частота срабатывания SD при разных значениях силы тока короткого замыкания при использовании модельных очагов, состоящих из бумаги (а), древесины (б), картона (в) и линолеума (г): SD (беспроводной) – беспроводной дымовой извещатель; SD (по шлейфу) – дымовой извещатель, подключенный по шлейфу; SD (объемный) – объемный дымовой извещатель

Рисунок 1.3.2 демонстрирует установленные средние значения времени задержки и частоту срабатывания пожарных извещателей при воспроизведении условий неосторожного обращения с огнём и нарушении правил эксплуатации нагревательного оборудования для всех исследуемых модельных очагов.





*a*



*б*

Рисунок 1.3.2 - Средние времена задержки и частота срабатывания пожарных извещателей при воспроизведении условий неосторожного обращения с огнём (а) и нарушении правил эксплуатации печного оборудования (б) для всех исследуемых модельных очагов

Приведенные на рисунке 1.3.2 данные могут быть использованы, в том числе, и при выборе необходимого количества той или иной группы пожарных извещателей. Так, для обеспечения высокой (близкой к единице) вероятности срабатывания определенной группы пожарных извещателей число последних

следует рассчитывать как величину, обратно пропорциональную частоте срабатывания ( $P$ ) и округлять до большего целого числа.

При анализе целесообразно выделить наиболее важные особенности:

1. При использовании *нагревательной плиты* пламенное горение не является типичным для большинства материалов. Как правило, происходит интенсивный пиролиз вследствие постепенного нагрева материала. По этой причине в данных экспериментах срабатывание FD и HD не регистрировалось. При увеличении температуры нагревательной поверхности время задержки срабатывания датчиков уменьшается для всех четырех горючих материалов. В то же время при варьировании площади занимаемой модельным очагом поверхности нагревательной плиты время задержки срабатывания SD остается практически неизменным, за исключением модельного очага, состоящего из бумаги. Время задержки срабатывания SD увеличивается вследствие того, что при равномерном расположении бумаги на поверхности выделяется меньше продуктов пиролиза и их горения, которые формируют дымовой аэрозоль.

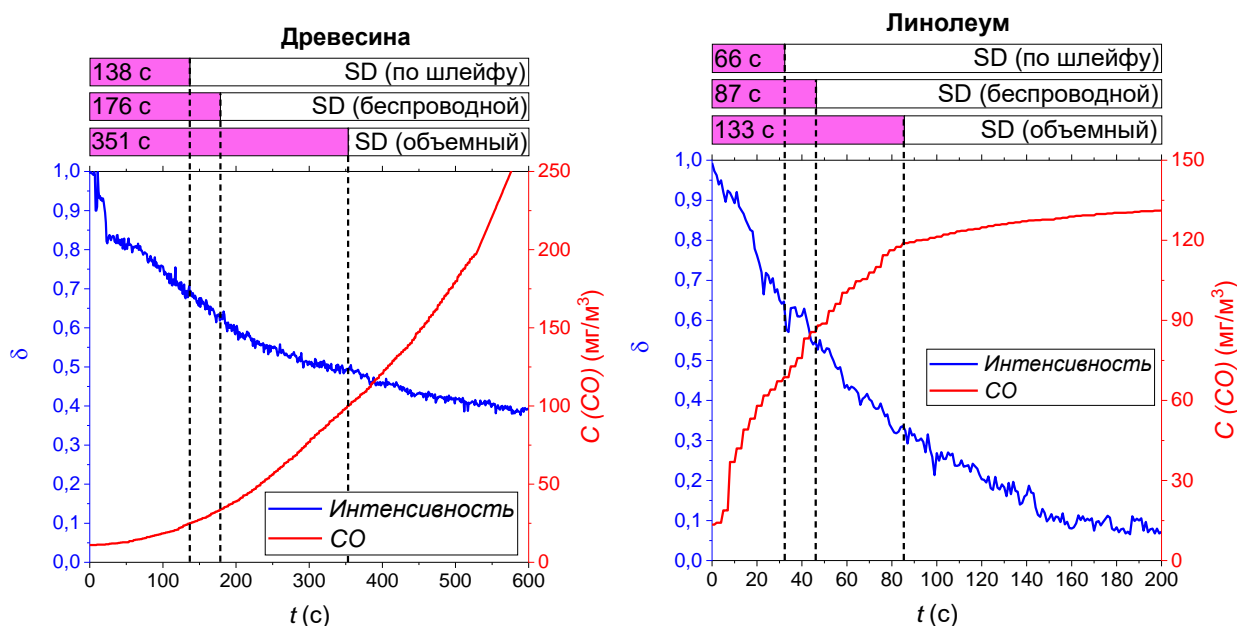
2. При использовании *сварочного аппарата* в качестве источника возгорания выделены следующие особенности. Модельный очаг, состоящий из древесины, даже при токе короткого замыкания около 120 А не загорался. Тление и дымообразование также в экспериментах не регистрировались. В ряде случаев, когда продолжительность короткого замыкания превышала 3–5 с, в экспериментах регистрировалось срабатывание некоторых SD (рисунок 1.3.1 б), что связано с интенсивным нагревом электродов. Эксперименты с модельными очагами из бумаги показали, что даже силы тока короткого замыкания около 20 А достаточно для того, чтобы горючий материал воспламенился, и сработали все SD за исключением ИПДЛ (рисунок 1.3.1 а). Срабатывание дымового датчика ИПДЛ происходило только в экспериментах с картоном с силой тока 120 А. Для воспламенения модельных очагов, состоящих из древесины и линолеума, требуются токи большей мощности. Так, при силе тока короткого замыкания 120 А не регистрировалось тление и пламенное горение. Однако при попадании искры на линолеум притока продуктов термического разложения достаточно для срабатывания датчиков дыма, подключенных по шлейфу

(рисунок 1.3.1 з). Кроме того, как отмечено ранее, во время короткого замыкания (как правило, более 3 с) выделялся дым за счёт плавления металлической пластины, что влекло за собой кратковременное срабатывание дымовых датчиков в ряде случаев.

3. При использовании *газовой горелки* в выполненных экспериментах достигалось устойчивое пламенное горение материалов. Следует отметить, что для срабатывания SD при использовании в экспериментах модельных очагов, состоящих из бумаги, масса последних должна составлять больше 80 г, при других горючих материалах такого не наблюдается. Датчик пламени реагировал быстрее остальных.

#### 1.4 Обобщение результатов экспериментов

С целью иллюстрации эффективности использования различных способов идентификации возгорания выполнено сопоставление и сравнение полученных данных. Рисунок 1.4.1 иллюстрирует совокупные результаты (относительная интенсивность  $\delta$ , концентрация CO, времена задержки срабатывания пожарных извещателей) при воспроизведении условий нарушения правил эксплуатации нагревательного оборудования (плита) для исследованных модельных очагов.



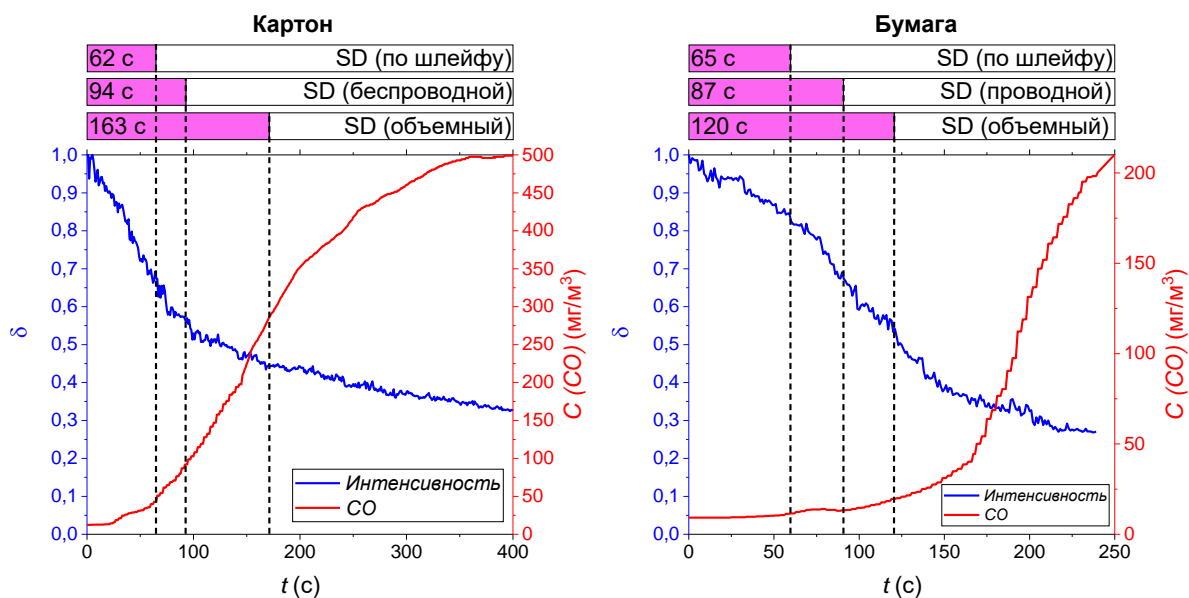


Рисунок 1.4.1 - Сопоставление результатов (относительная интенсивность  $\delta$ , концентрация CO, времена задержки срабатывания пожарных извещателей) при воспроизведении условий нарушения правил эксплуатации нагревательного оборудования (*плита*) для исследованных модельных очагов

Различные способы ранней идентификации возгорания отличаются предельным временем срабатывания. Так, например, видно (рисунок 1.4.1), что использование серийно выпускаемых SD не всегда является самым эффективным способом обнаружения возгораний. Расчет параметра  $\delta$ , как следует из результатов, представленных на рисунке 1.4.1, напротив может являться одним из самых эффективных способов, так как в большинстве случаев срабатыванию SD предшествует падение значений  $\delta$  более чем на 20–30%, что может являться отличным маркером, сигнализирующим о наличии возгорания в защищаемом помещении. Определить наличие возгорания по увеличению концентрации угарного газа (CO) раньше, чем это обеспечивается серийно выпускаемыми SD можно лишь для синтетических материалов (например, линолеума). Руководствуясь результатами экспериментов (рисунок 1.4.1) можно утверждать, что добавление к серийно выпускаемым SD одного из предложенных подходов (слежение в режиме реального времени за изменением относительной интенсивности  $\delta$  или концентрацией CO) может способствовать более раннему и эффективному обнаружению возгорания в помещении.

Проведенные эксперименты позволили установить особенности идентификации возгораний в помещениях при трех наиболее часто фиксируемых причинах: неосторожное обращение с огнем (открытое пламя), неисправности в работе электрических сетей и нагревательного оборудования. Для определения характеристик срабатывания соответствующих сенсоров при разных сценариях зарождения и развития пожара использованы типичные горючие материалы: бумага, картон, древесина, линолеум. Использовалась автоматизированная система регистрации, включающая большую совокупность регистраторов: пожарные извещатели (тепловые, дымовые, пламени), контактные и бесконтактные средства измерения температуры, систему газоанализа, средства видеорегистрации. В каждом конкретном случае эффективными, по критерию инерции процесса идентификации возгорания и исключения ложных срабатываний, являются несколько комбинированных по сенсорам систем. При этом отличия по временам срабатывания нескольких систем достаточно существенные. Данный фактор критически влияет на эффективность работы систем тушения, так как скорости распространения фронта пожара могут быть довольно существенными. По результатам работы обосновано, что добавление к серийно выпускаемым SD одного из предложенных подходов (слежение в режиме реального времени за изменением относительной интенсивности  $\delta$  или концентрацией CO) может способствовать более раннему и эффективному обнаружению возгорания в помещении. Результаты проведенных экспериментов обосновывают возможности оптимизации технологий идентификации возгораний и тушения пожаров в помещениях.



## 2 Проектирование автоматической системы пожаротушения

### 2.1 Системный анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации была выбрана система пожаротушения жилого помещения.

Пожары в помещениях приводят к масштабным последствиям по ряду причин. Основные из них связаны с существенным разрушением конструкция зданий и сооружений, перекрытий, лестниц и проходов. Ключевой проблемой является обнаружение очага возгорания и его идентификация на всех основных стадиях пожара. В большинстве систем пожаротушения применяются точечные детекторы обнаружения возгорания, реагирующие на один из признаков пожара (задымление, повышение теплового или инфракрасного излучения). Однако точность и быстродействие локальных датчиков не всегда удовлетворяет требованиям идентификации возгорания в помещении. Как следствие, происходит поздний пуск системы пожаротушения, который, зачастую, приводит к потерям людских жизней, а также значительным материальным убыткам.

В данной работе для идентификации возгорания используется широкая группа пожарных извещателей позволяющая идентифицировать возгорание на ранних стадиях пожара.

В состав системы пожаротушения входят различные форсуночные устройства, система сигнализации, датчики и приборы, запорные устройства, питающие и распределительные трубопроводы, а также общие подводящие трубопроводы.

В таблице 2.1.1 представлен перечень параметров системы пожаротушения тонкораспыленной водой.

Таблица 2.2.1 – Требования к параметрам системы пожаротушения ТВ

Наименование параметра	Значение параметра
Минимальная интенсивность орошения, л/(с·м <sup>2</sup> )	0,04
Минимальный свободный напор перед оросителем, МПа	0,5
Площадь для расчета воды, м <sup>2</sup>	90
Максимальное расстояние между оросителями, м	3
Максимальная высота установки распылительного устройства, м	3
Начальный размер капель распыленного потока воды, мм	0,35 мм

Помимо требований к системе пожаротушения ТВ, представленных в таблице 2.2.1, автоматическая система пожаротушения должна быть основана на микропроцессорном оборудовании. Технические средства необходимо размещать с соблюдением требований завода изготовителя, а также учитывать эргономические требования по организации рабочего места согласно госту (ГОСТ 22269-76).

## 2.2 Разработка структуры КТС автоматической системы управления

Разрабатываемая автоматическая система пожаротушения жилого помещения предназначена для своевременного обнаружения очага возгорания и ликвидации его на ранних стадиях.

Основными функциями АСПТ жилого помещения являются:

- сбор информации с пожарных извещателей, первичных датчиков и преобразователей по унифицированному токовому сигналу (4-20 мА) или интерфейсу RS-485 Modbus;
- оповещение персонала о возникновении возгорания или задымления (звуковая и световая сигнализация);

- обработка первичной информации и формирование команд управления;
- регистрация событий в режиме реального времени.

АСПТ должна иметь трехуровневую структуру. Нижний уровень включает в себя первичные датчики, газоаналитические сенсоры, преобразователи, пожарные извещатели. Датчики должны выполняться во взрывозащищенном исполнении. В одном помещении требуется наличие не менее двух дымовых пожарных извещателей для исключения ложного срабатывания системы пожаротушения. Средний уровень состоит из программируемого логического контролера, который обеспечивает сбор и обработку информации, полученную с нижнего уровня, а также передачу информации на верхний уровень и формирование управляющих команд на запуск системы пожаротушения. Верхний уровень включает в себя автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора АСПТ и программное обеспечение (ПО) в виде мнемосхемы.

Передача данных со среднего уровня на верхний должна осуществляться при помощи сетей Ethernet/Modbus TCP/IP.

При работе АСПТ должен быть предусмотрен автоматический контроль целостности шлейфов. Это достигается путем подключения в конце пожарного шлейфа оконечного устройства, либо же данный контроль должен быть предусмотрен самим пожарным извещателем.

### 2.2.1 Основные требования к АСПТ

Целью внедрения АСПТ в жилые помещения является ранняя идентификация возгорания, а также его локализация с минимальным материальным ущербом. АСПТ позволяет исключить человеческие факторы, а также уменьшить время обнаружения очага возгорания для принятия соответствующих мер по ликвидации возгорания.

Важным требованием к разработке таких систем является сохранение эффективной работоспособности при расширении объекта. Система должна

быть оснащена звуковой и световой сигнализацией, чтобы своевременно и оперативно оповещать людей о возникновении пожара. Тушение необходимо начинать после поступления минимум двух сигналов с пожарных извещателей. Щит управления должен иметь гальваническое разделение с устройствами нижнего уровня. В случае выхода из строя основного насоса, необходимо предусмотреть наличие резервного насоса, который будет использоваться для подачи тушащей жидкости по трубопроводам к распылительным устройствам. Высота звуковой сигнализации должна быть не менее 2,3 м от уровня пола или 0,15 м от потолка. В соответствии с требованиями пожарной безопасности, необходимо наличие ручного пожарного извещателя. Во время тушения системы необходимо предусмотреть возможность отключения электрического питания внутри помещения, чтобы предотвратить поражение электрическим током.

Структурная схема разрабатываемой АСПТ приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.019 С1.

Значение уровня в баке для хранения огнетушащей жидкости поступает с датчика уровня УР1 в контроллер, где происходит сравнение измеренного значения с уставкой и регулирование данной величины при помощи задвижки РО1 и насоса Н1. При возникновении возгорания сигналы с пожарных извещателей поступают в контроллер (ПЛК). ПЛК формирует команду на открытие задвижки РО3 и включение основного насоса Н2 для подачи тушащей жидкости к распылительным устройствам по трубопроводам. При отказе основного насоса Н2 ПЛК формирует команду на открытие задвижки РО2 и включения резервного насоса Н3.

### 2.3 Разработка функциональной схемы системы управления

Оформление и документирование технологических процессов является неотъемлемой частью современной промышленности. Одним из способов наглядного представления функций отдельных элементов и устройств является использование функциональной схемы. Такая схема позволяет визуализировать

весь технологический процесс с выделением отдельных его компонентов и их функций. При оформлении технологического оборудования необходимо руководствоваться ГОСТ 21.403-80, определяющим требования к оформлению технической документации, а также учитывать условные обозначения запорной арматуры по ГОСТ 2.785-70 и первичных и функциональных приборов по ГОСТ 21.208-2013. Функциональная схема АСПТ жилого помещения представления на листе с шифром ФЮРА.421000.019 С2.

Измерения уровня тушащей жидкости в баке осуществляется при помощи уровнемера 7а по каналу 7. Сигнал о значении уровня с уровнемера поступает в контроллер, происходит сравнение с уставкой и при необходимости осуществляется регулирование данной величины. Контроллер формирует управляющий сигнал, который приводит в действие электрический привод и происходит открытие задвижки РО1. При полном открытии задвижки РО1 от ПЛК поступает сигнал на пускатель 14в, который приводит в действие насос Н1. В жилом помещении находятся пожарные извещатели (каналы 20,21,22) и система газоанализа, состоящая из двух газоанализаторов (1а, 2а), измерения концентраций газовых компонентов поступают в ПЛК по каналам 1, 2. Каналы 9, 11, 13 служат для предоставления информации о положении вала исполнительного механизма.

Пожарная сигнализация (НА1) включается при срабатывании пожарных извещателей или достижении концентрацией газовых компонентов пороговых значений. В таком случае инициируется формирование ПЛК сигнала на открытие задвижки РО3 и включение основного насоса Н2 (18в) по каналу 18, благодаря чему огнетушащая жидкость поступает к распылительным устройствам. Для обеспечения непрерывной работы системы предусмотрен запасной резервный насос Н3 (16в), который запускается при падении давления в подающем трубопроводе, сигнал о котором поступает на ПЛК по каналу 4. Давление измеряется датчиком давления 4а, установленным за основным насосом Н2. Каналы 15, 17, 19 в свою очередь используются для передачи информационных сигналов о текущем состоянии (включен/отключен) насосов.

## 2.4 Выбор технических средств автоматизации

Для реализации АСПТ жилого комплекса требуется выбрать следующие технические средства: дымовые и тепловые пожарные извещатели для обнаружения возгораний в помещениях, звуковую сигнализацию для оповещения персонала, систему стационарных газоанализаторов для непрерывного контроля газовых сред, уровнемер для контроля уровня огнетушащей жидкости (воды) в специализированной ёмкости, расходомеры для контроля расхода огнетушащего состава, направляемого к распылительным устройствам, насосы для наполнения специализированной емкости огнетушащим составом и подачи жидкости к распылительным устройствам, датчики давления для контроля избыточного давления в трубопроводах насосной станции, программируемый логический контролер.

### 2.4.1 Выбор датчика уровня

Одной из наиболее важных задач для АСПТ является измерение уровня в хранилищах воды, которая используется в качестве огнетушащей жидкости. Для этой цели был выбран поплавковый уровнемер ПМП-128 [21], который обеспечивает точное измерение уровня в специализированных емкостях. Технические характеристики поплавкового уровнемера ПМП-128 представлены в таблице 2.4.1.1.

Таблица 2.4.1.1 – Технические характеристики уровнемера ПМП-128

Наименование характеристики	Значения
Диапазон измерения, м	0,75 ...25
Максимальное избыточное давление, МПа	2,5
Диапазон температуры среды, °С	-50...+60
Выходной сигнал	4...20 мА, HART-протокол
Напряжение питания, В	12
Степень защиты от пыли и влаги	IP68

Поплавковый уровнемер ПМП-128 работает на основе принципа плавучести, который позволяет ему определять положение жидкости в емкости в режиме реального времени. Точность и надежность измерений, обеспечиваемых данным уровнемером, делают его идеальным выбором для системы АСПТ.

#### 2.4.2 Выбор датчика давления

Одними из ключевых параметров, требующих измерения в автоматизированной системе, являются избыточное давление в трубопроводе на выходе основного и резервного насосов. Для достоверного и точного измерения данных показателей нашим выбором стал датчик давления Метран-150 АС ТГ. Технические характеристики датчика давления Метран-150 АС ТГ представлены в таблице 2.4.2.1.

Таблица 2.4.2.1 – Технические характеристики датчика давления Метран-150 АС ТГ

Наименование характеристики	Значения
Диапазон измерения, МПа	0,097 ... 13,8
Диапазон температур рабочей среды, °С	-40...+120
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40...+85
Выходной сигнал	4...20 мА, HART-протокол
Степень защиты от пыли и влаги	IP66

Датчик давления Метран-150 АС ТГ обладает рядом преимуществ перед другими датчиками на рынке. Прежде всего, он обладает высокой точностью измерений, что обеспечивает максимально достоверные результаты. Кроме того, данный датчик давления обладает широким диапазоном измерений, что позволяет определять значения давления в различных условиях и даже в

экстремальных ситуациях. Одним из дополнительных преимуществ данного датчика давления является его надежность и долговечность. Метран-150 АС ТГ изготовлен из качественных материалов, что обеспечивает его длительный срок службы и минимальные затраты на обслуживание.

### 2.4.3 Выбор датчика расхода

Для контроля расхода огнетушащей жидкости (вода), поступающей по трубопроводам к распылительным устройствам, а также измерения расхода жидкости, поступающей в специализированную емкость, необходимо выбрать датчики для измерения расхода воды. Основными критериями для выбора датчика расхода было наличие унифицированного выходного сигнала.

В результате подбора необходимого датчика расхода был выбран Турбинный расходомер Blancett FloClean [22]. Технические характеристики расходомера Blancett FloClean представлены в таблице 2.4.3.1.

Таблица 2.4.3.1 – Технические характеристики расходомера Blancett FloClean

Наименование характеристики	Значения
Диапазон измерения, л/с	0,1 ...25
Диапазон температур рабочей среды, °С	-50...+65
Диапазон температур окружающей среды, °С	-100...+149
Выходной сигнал	4...20 мА, HART-протокол

Корпус расходомера сделан из нержавеющей стали, что обеспечивает надежную и эффективную работу в течение длительного времени. Также присутствует выходной унифицированный сигнал 4...20 мА, HART-протокол сигнал. Диапазоны измерения соответствуют требованиям АСПТ.



## 2.4.4 Выбор насосного оборудования

В разрабатываемой АСПТ необходимо наличие насосного оборудования для наполнения бака водой, а также для подачи воды к форсуночным устройствам по трубопроводам. Был выбран центробежный моноблочный насос 3М [23]. Технические характеристики насоса 3М представлены в таблице 2.4.4.1.

Таблица 2.4.4.1 – Технические характеристики насоса 3М

Наименование характеристики	Значения
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	6 ...240
Напор	7 ...93,5
Температура жидкости, °С	-10 ...90
Максимальное давление в корпусе, кгс/см <sup>2</sup>	до 10

Центробежный моноблочный насос 3М предназначен для перекачки холодной и горячей воды, растительных и минеральных масел, а также сиропов, моющих средств. Данный насос удовлетворяет требуемой производительности.

## 2.4.5 Выбор пожарного дымового извещателя

Для обнаружения возгораний, сопровождающихся образованием дыма, был выбран пожарный дымовой извещатель ИП 212-141. Средний срок службы датчика составляет 10 лет. Технические характеристики пожарного дымового извещателя ИП 212-141 представлены в таблице 2.4.5.1.

Таблица 2.4.5.1 – Технические характеристики дымового извещателя ИП 212-141

Наименование характеристики	Значения
Инерционность срабатывания, с	< 9
Средняя наработка на отказ, ч	< 60000
Рабочая температура окружающей среды, °С	-45 ...+55
Максимальная относительная влажность воздуха, %	93

Принцип работы дымового датчика основан на понижении внутреннего сопротивления при повышении задымлённости помещения, в результате свечение оптического индикатора становится постоянным, а сигнал о пожаре поступает на приемно-контрольный прибор.

#### 2.4.6 Выбор пожарного теплового извещателя

Для контроля повышения температуры во время возгорания был выбран тепловой пожарный извещатель ИП 101-1А-А1. Данный прибор рассчитан на круглосуточную работу в разных по назначению помещениях. Технические характеристики пожарного теплового извещателя ИП 101-1А-А1 представлены в таблице 2.4.6.1.

Таблица 2.4.6.1 – Технические характеристики дымового извещателя ИП 212-141

Наименование характеристики	Значения
Температура срабатывания, °С	+54 ...+65
Диапазон рабочих температур, °С	-30 ...+76
Степень защиты оболочки	IP30
Максимальная относительная влажность воздуха, %	93

Принцип работы теплового извещателя основан на повышении температуры, опрос осуществляется каждые 6 секунд. При достижении порогового значения, ток, потребляемый тепловым извещателем, возрастает, вследствие чего формируется сигнал о возникновении пожара.

#### 2.4.7 Выбор стационарных газоанализаторов

Для непрерывного контроля концентрации газа в помещениях были выбраны стационарные газоанализаторы типа Сенсон-СВ-5023. Данный прибор снабжен световой и звуковой сигнализацией, встроенной системой управления и установки пороговых значений средствами управления внешними устройствами. Технические характеристики газоанализатора Сенсон-СВ-5023 представлены в таблице 2.4.7.1.

Таблица 2.4.7.1 – Технические характеристики газоанализатора Сенсон-СВ-5023

Наименование характеристики	Значения
Материал корпуса	алюминиевый сплав
Способ отбора проб	диффузионный
Диапазон температур окружающей среды, °С	-60...+65
Выходной сигнал	4...20 мА, RS-485 MODBUS TRU

Конструкция газоанализатора СВ-5023 исключает возможность механических воздействий на проводку внутри корпуса, высокая надежность работы в разных областях. В зависимости от измеряемых веществ используются разные типы чувствительных сенсоров (полупроводниковый, электрохимический, термокаталитический, оптический).

## 2.4.8 Выбор ручного пожарного извещателя

Для оперативной передачи сигнала о возникновении пожара был выбран ручной пожарный извещатель ИПР 513-2 «Агат». Технические характеристики ручного пожарного извещателя ИПР 513-2 «Агат» представлены в таблице 2.4.8.1.

Таблица 2.4.8.1 – Технические характеристики ручного пожарного извещателя ИПР 513-2 «Агат»

Наименование характеристики	Значения
Материал корпуса	алюминиевый сплав
Защита от пыли и влаги	IP41
Диапазон температур окружающей среды, °С	-30...+50
Выходной сигнал	4...20 мА, RS-485 MODBUS TRU

Ручной пожарный извещатель ИПР 513-2 «Агат» выполнен в офисном исполнении.

## 2.4.9 Выбор звуковой сигнализации

Для оповещения людей при возникновении возгорания была выбрана звуковая сигнализация Марс 220-КП. Технические характеристики звуковой сигнализации Марс 220-КП представлены в таблице 2.4.9.1.

Таблица 2.4.9.1 – Технические характеристики звуковой сигнализации Марс 220-КП

Наименование характеристики	Значения
Уровень звукового давления, дБ	110
Относительная влажность воздуха, %	95
Диапазон рабочих температур, °С	-30...+55
Степень защиты оболочки	IP52

Звуковая сигнализация Марс 220-КП используется на в коммерческих или жилых помещениях.

#### 2.4.10 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм, который будет применен для регулировки работы органа, можно выбрать на основе его типа и максимального крутящего момента. В рамках данной работы, максимальная величина крутящего момента составила 213,2 Н·м для трубопровода диаметром 338 мм.

При выборе необходимо учитывать условие:

$$M_n > M_{max}$$

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

В качестве исполнительного механизма для автоматизированной системы прокладки труб, был выбран электрический однооборотный исполнительный механизм рычажного типа МЭО-250/63-0,25Н-99 [24]. Технические характеристики исполнительного механизма представлены в таблице 2.4.10.1

Таблица 2.4.10.1 – Технические характеристики исполнительного механизма МЭО-250/63-0,25Н-99

Наименование характеристики	Значения
Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	250
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	240
Максимальная частота включения	до 1200 в час при повторном включении до 25%

В исполнительном механизме предусмотрено автоматическое и ручное управление. Дистанционное управление осуществляется посредством пускателя ПБР.

#### 2.4.11 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В ходе проектирования системы предусмотрено использование устройства ручного исполнения - блока ручного управления БРУ-42 [25]. Главная задача данного устройства заключается в возможности переключения режима управления с автоматического на ручной и определении текущего положения регулирующего органа. БРУ-42 будет иметь высокую значимость в процессе эксплуатации и обеспечивать гибкость и эффективность управления системой в различных ситуациях.

#### 2.4.12 Выбор программируемого логического контролера

Для автоматического управления АСПТ необходим программируемый логический контроллер для регистрации данных с первичных датчиков, а также формирование команд для управления технологическим оборудованием.

Для разрабатываемой АСПТ был выбран контроллер ЭЛСИ-ТМК. Технические характеристики контроллера ЭЛСИ-ТМК представлены в таблице 2.4.12.1.

Таблица 2.4.12.1 – Технические характеристики контроллера ЭЛСИ-ТМК

Наименование характеристики	Значения
Тип процессора	(ARM Cortex-A8)
Объем оперативной памяти RAM, Мб	256
Количество поддерживаемых модулей ввода/вывода	10
Количество дискретных каналов	До 640
Количество аналоговых каналов	До 240

При необходимости увеличения количества входных сигналов в контроллере предусмотрено подключение модулей удаленного ввода-вывода.

По результатам выбора оборудования разработана заказная спецификация приборов и средств автоматизации, представленная в документе с шифром ФЮРА.421000.019 СО1.

## 2.5 Проектирование схемы внешних проводок

Одним из необходимых этапов монтажных работ является проектирование схем внешних проводок. Данная задача решается на основе монтажных схем, которые отображают соединения клемм и выводов технических устройств. Для проектирования монтажных схем используется техническая документация оборудования.

Монтажная схема внешних электрических и трубных проводок представлена на листе с шифром ФЮРА.420000.019 С5. В нижней части схемы располагаются щиты автоматизации и клеммные блоки, а справа от щитов управления представлена таблица применимости, упрощающая проектирование схемы. Маркировка кабелей проводится в соответствии с данной таблицей.

В средней части монтажной схемы отображены соединения датчиков и исполнительных механизмов, а в верхней части размещена поясняющая таблица. В данной схеме предусмотрено использование различных видов кабелей, таких как: алюминиевый кабель АВВГ для питания (220В), медный одножильный кабель КВВГ с поливинилхлоридной пластиковой изоляцией, экранированный кабель МКЭШ с медной жилой и симметричный кабель для промышленного интерфейса RS-485 МКЭШ.

Для соединения и разветвления электрических кабелей используются соединительные коробки КСК-8, КСК-10, КСК-12.

## 2.6 Разработка схемы электрической соединений щита управления

При выполнении проектных работ по оформлению принципиальной схемы необходимо руководствоваться требованиями Единых систем конструкторской документации и стандарта ГОСТ 2.710-81. В пределах изделия на схемах должны быть отображены устройства, элементы и их соединения. Для удобства оформления проводов и кабелей предусматривается их нумерация с соответствующими порядковыми номерами. Кроме того, возможно применение сквозной нумерации.

Для АСПТ рекомендуется использование основного и резервного ввода питания на 220 Вольт. При необходимости резервный ввод активируется с использованием аккумуляторной батареи. Внутренние устройства щита подключаются к блоку питания на 24 Вольта. Для передачи аналоговых сигналов в электрической схеме используются разделительные преобразователи ET-422, способные обеспечить гальваническую развязку цепей контроллера и полевых цепей. В частотных преобразователях присутствует штекерный модуль, предотвращающий возможные перенапряжения, обозначенный как Z1-Z4 [30]. Для удобства подключения пожарных извещателей по RS-485 используется трех-портовый промышленный HUB RS-485.

Разработанная схема электрических соединений щита управления представлена в документе с шифром ФЮРА.421000.019 Э4. Перечень элементов, которые представлены на электрической схеме, приведен на листах с шифром ФЮРА.421000.019 ПЭ4.

## 2.7 Разработка сборочного чертежа и общего вида щита управления

Щит управления представляет собой комплексную систему, состоящую из различных компонентов, находящихся в необходимом порядке расположения. Сборочный чертеж, позволяющий осуществить сборку щита, представлен на листах под шифром ФЮРА.42100.019 СБ.

Щит, выбранный для использования в АСПТ, представлен серией шкафов



TS8 8880.500 от компании «Rittal», соответствующий габаритным размерам 1800x800x500 мм. В серии данных шкафов предусмотрено наличие защиты от несанкционированного доступа через установку замков, что повышает уровень безопасности.

Кроме того, для обеспечения комфортных условий функционирования системы, в щите устанавливается система регулирования температуры воздуха на базе термореле, вентилятора и отверстий для забора воздуха. Общий вид щита системы пожаротушения представлен на листах под шифром ФЮРА.421000.019 ВО.

Шкаф имеет модульную конструкцию, причем контроллер ЭЛСИ-ТМК (АС1) находится в верхней его части. Также, для освещения внутри шкафа, предусмотрен светильник (EL1). Ниже модульного контроллера находится DIN-рейка, на которой установлены реле фирмы Finder, блок питания (G1), устройства от защиты перенапряжения (ZO1) и клеммные сборки питающего напряжения (ХТ01...ХТ04).

В средней части шкафа расположены преобразователи (UY1...UY5), розетка 220 В (XS1), защиты от перенапряжения (Z1...Z12), а также автоматические выключатели (QF1...QF6).

Завершая описание шкафа, можно отметить, что в его нижней части размещаются клеммы для подключения проводов к ПЛК. Спецификация для данного щита управления представлена в документе с шифром ФЮРА.421000.019 СП.

## 2.8 Разработка математического, программного и информационного обеспечений

Математическое обеспечение АСУ ТП представляет собой программное обеспечение, которое позволяет накапливать статистику срабатывания широкой номенклатуры сенсоров в испытательном комплексе, анализировать статистические данные в режиме нейронной сети и выдавать рекомендации для

оператора системы пожарной безопасности по типу целесообразного методики его подачи и плотности орошения.

Статистическая база для работы такой системы формировалась по результатам опытов, проводимых на протяжении нескольких лет в Heat Mass Transfer Laboratory TPU (<http://hmtslab.tpu.ru/>). В общей сложности база содержит более 1000 экспериментов с разными материалами и механизмами инициирования их термического разложения, а также способами локализации и подавления горения на ранних стадиях идентификации возгораний с применением жидкостных спреев на основе воды. Статистическая база данных Heat Mass Transfer Laboratory TPU (<http://hmtslab.tpu.ru/>) представляет собой аналог нейронной сети, используя которую представляется возможным на основе набора измерений (температура, времена задержки срабатывания извещателей, концентрация газовых компонентов) определить тип горючего материала, его массу, механизм нагрева (пиролиза), а также спрогнозировать необходимый и достаточный для локализации и тушения очага объем тушащего состава и время тушения. Схема обучения и интеграции нейросети в АСПТ представлена на рисунке 2.8.1.

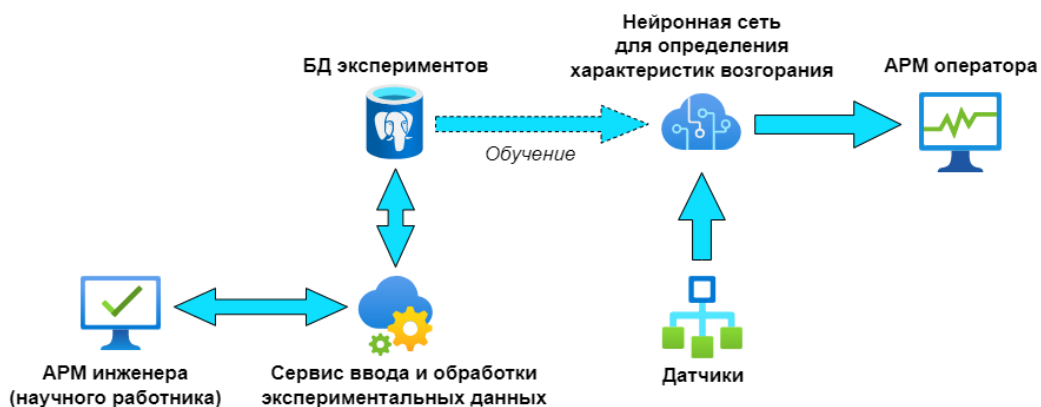


Рисунок 2.8.1 – Схема обучения и интеграции нейросети в АСПТ

Ежегодно данная база дополняется вследствие получения новых экспериментальных данных из опытов с разными типами материалов, сенсоров пожарной сигнализации, условиями формирования и подавления возгораний. Работа с базой данных осуществляется следующим образом:

- при обнаружении в защищаемом помещении возгорания (с использованием нескольких различных датчиков, устройств или систем) показания установленных в объеме помещения датчиков, устройств или систем загружаются в статистическую базу данных;
- из статистической базы выгружаются данные, отражающие все характеристики работы датчиков, устройств или систем, содержащихся в защищаемом помещении и соответствующих широкой группе материалов и механизмов инициирования возгорания (соответствующих типичным причинам возгораний);
- посредством сравнения данных, полученных датчиками и системами из защищаемого помещения, с выгруженными из статистической базы данными осуществляется выбор группы данных, содержащих наиболее близкое совпадение. В первую очередь анализируется факт срабатывания датчика/системы/сенсора. Далее сравниваются значения коэффициентов с частотой срабатывания датчика/системы/сенсора;
- по наиболее близкому совпадению определяется материал, либо группа материалов, а также их масса (диапазон масс), площадь очага возгорания;
- руководствуясь данными статистической базы для материала или группы материалов выдаются соответствующие рекомендации: необходимые времена тушения, тип тушащего состава, его требуемая плотность орошения, объем тушащего вещества.

Так, например, тестовое использование вышеизложенной статистической базы при условии срабатывания таких датчиков, сенсоров и систем, как SD, CO (GDS), позволило с точностью 82% идентифицировать материал – древесину, а также определить минимальную необходимую плотность орошения очага – 2,97 л/м<sup>2</sup> и время тушения – 90 с. В результате получаем, что при площади помещения около 20 м<sup>2</sup> требуемый объем огнетушащего вещества (воды) для полной локализации и подавления возгорания составит около 59,4 л. По сравнению с регламентированной интенсивностью орошения водой (в диапазоне 0,08-0,12 л/(м<sup>2</sup>·с) при максимальной продолжительности орошения не менее 30-60 мин), которая достигает значений около 144-432 л/м<sup>2</sup>,

использование предлагаемого по результатам проведенных исследований подхода позволяет существенно снизить объем затраченной на тушение воды. Последнее, в частности, позволит существенно минимизировать убытки от чрезмерного залива помещения жидкостными огнетушащими составами.

## 2.9 Разработка мнемосхемы SCADA-системы

Мнемосхема широко применяется в различных областях, чтобы предоставлять информацию о контролируемых параметрах и состоянии системы. Значение мнемосхемы определяется требованиями, которые устанавливает заказчик. В данной работе мнемосхема должна соответствовать общим требованиям. Мнемосхема позволяет в режиме реального времени отслеживать параметры пожаротушения и своевременно реагировать на изменения в состоянии системы. Для того чтобы обеспечить корректное отображение информации на мнемосхеме, необходимо учитывать особенности конкретной системы. Разработка мнемосхемы должна включать в себя анализ контролируемых параметров и определение наиболее важных из них. Кроме того, следует учитывать особенности специфики системы, такие как тип поставляемого оборудования, технологические процессы и потребности пользователя. Правильная разработка мнемосхемы позволяет значительно повысить эффективность мониторинга контролируемых параметров и состояния системы, снизить риск аварийных ситуаций, а также обеспечить оптимальное управление системой в целом. Основным преимуществом мнемосхемы является ее простота в использовании и возможность быстрого реагирования на изменения в системе. Мнемосхема автоматической системы пожаротушения представлена в приложении А.

Программируемый логический контроллер выполняет центральную роль в системе пожаротушения. При срабатывании пожарных извещателей контроллер получает сигнал и вызывает окно с надписью Alarm «Пожар». Это сигнализирует об угрозе пожара и запускает автоматическую систему пожаротушения с оповещением оператора. Для того чтобы предотвратить

распространение огня, необходимо быстро и эффективно привести в действие систему пожаротушения. Задвижки открываются, насосы запускаются, а индикация сигнализирует об этом.

При выходе из строя основного насоса, появляется окно Alarm «Вышел из строя основной насос!». В данном случае автоматически открывается задвижка перед резервным насосом и запускается резервный насос. Это позволяет системе функционировать непрерывно и предотвратить большой ущерб. Однако возможны сбои и в работе резервного насоса, в этом случае появится окно Alarm «Насосы неисправны!». Оно указывает на неисправность обоих насосов, что сигнализирует о критической ситуации. В такой ситуации необходимо оперативно реагировать и принимать меры для устранения поломок.

Однако, благодаря работе программируемого логического контроллера, система способна быстро реагировать на возникшие проблемы и мгновенно переключаться на работу других компонентов. Это позволяет системе обеспечивать безопасность на объекте, несмотря на возможные сбои.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ13	Свириденко Александр Сергеевич

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

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
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.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>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>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы, потенциальные потребители результатов исследования.</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление графика проведения научно-технического исследования; определение бюджета научно-технического исследования; оценка эффективности проекта</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Оценка ресурсной и финансовый эффективности исследований.</i>
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i></li> <li>2. <i>Матрица SWOT</i></li> <li>3. <i>График проведения НТИ</i></li> <li>4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i></li> <li>5. <i>Потенциальные риски</i></li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ13	Свириденко Александр Сергеевич		

### 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 в помещениях приводят к масштабным последствиям и огромным убыткам 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 ликвидация. В настоящей исследовательской работе предложен вариант тушения и локализации пожаров в жилых помещениях на базе интеллектуального алгоритма обратной связи с применением широкой группы пожарных извещателей.

Для того, чтобы определить потенциальных потребителей, необходимо определить целевой рынок. Целевым рынком для данной разработки являются организации имеющую коммерческую или жилую недвижимость.

Потенциальные потребители – компании, специализирующиеся на сдаче в аренду помещений, не оснащенные системами пожаротушения (для тушения используются ручные средства, например, разного рода огнетушители, пожарные рукава) или имеющие автоматические системы пожаротушения.

### 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, успешнее противостоять своим конкурентам. Для определения эффективности научной разработки проведем сравнение АСПТ с применением воды ( $K_v$ ), АСПТ на базе интеллектуального алгоритма обратной связи с применением воды ( $K_{обр}$ ) и АСПТ с применением 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		
		$K_v$	$K_{обр}$	$K_x$	$K_v$	$K_{обр}$	$K_x$
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							



### Продолжение таблицы 3.1.2.1

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:

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

Рассматриваемое в проекте решение (применение АСПТ на базе интеллектуального алгоритма обратной связи с применением воды) 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. С2. Малый расход огнетушащего вещества. С3. Малый ущерб экологии в случае срабатывания системы. С4. Универсальность системы. С5. Применение интеллектуального алгоритма обратной связи.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость оборудования. Сл2. Сложность пуска и отладки. Сл3. Многостадийность методики.</p>
<p>В1. Повышение эффективности работы системы пожаротушения. В2. Снижение расхода воды. В3. Наличие комплектующих в свободном доступе на российском рынке. В.4. Возможность выхода на внешний рынок.</p>	<p>1. Малый расход огнетушащего вещества и применение интеллектуального алгоритма обратной связи приводит к повышению эффективности работы системы пожаротушения и снижению расхода воды. 2. Большой потенциал системы, а так же возможность выхода на внешний рынок обуславливаются принципиально новым и эффективным способом локализации возгораний. 3. Возможность быстрой замены и наличие оборудования системы в свободном доступе связаны с выполнением системы из отечественных комплектующих.</p>	<p>1. Возможность снизить стоимость системы за счет замены компонентов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий пожаротушения. У2. Отсутствие спроса на тушение пожаров на базе интеллектуального алгоритма обратной связи</p>	<p>1. Универсальность системы привлечёт потенциальных потребителей. 2. Малый материальный ущерб в случае срабатывания системы может привести к росту спроса тушения пожаров.</p>	<p>1. Возможность применение в системе разных видов огнетушащих составов.</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 4.1.3.3 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	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 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  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{C_i},$$

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

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

$$T_{РД} = T_{Pi} \cdot T_{КД},$$

где  $T_{РД}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{Pi}$  – 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 ( $T_{КАЛ} = 366$ );  $T_{ВД}$  – выходные дни в 2023 году;  $T_{ПД}$  – праздничные дни в 2023 году. Количество выходных и праздничных дней в 2023 году – 118.

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

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

Таблица 3.2.1.2 – Длительность этапов работ

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни						Длительность работ, человеко-дни			
		$t_{\min}$		$t_{\max}$		$t_{\text{ож}}$		$T_{\text{Pi}}$		$T_{\text{РД}}$	
		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 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	–	1,476	–
Итого								82,4	26,2	121,53	38,6

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

### 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);
- затраты на научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

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

Таблица 3.2.2.1– Материальные затраты

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

Затраты, идущие на специальное оборудование, рассчитываются согласно стоимости оборудования по прайс-листам, либо по договорной цене. К данной

группе затрат относятся затраты на оборудование, используемое при реализации научно-исследовательской работы. В таблице 3.2.2.2 приведены затраты на оборудование.

Таблица 3.2.2.2 – Затраты на оборудование

Наименование	Цена за ед., руб	Количество, шт.	Затраты на оборудование, руб.
Пожарный дымовой извещатель ИП 212-141	1375	4	5500
Стационарный газоанализатор Сенсон-СВ-5023	25000	3	75000
Тепловой пожарный извещатель ИП 101-1А-А1	1250	2	2500
Приемо-контрольный прибор Сигнал-20М	22000	1	22000
Итого			105000

Для решения задач НИР вышеперечисленное оборудование не приобретается. Тем не менее, в таблице 3.2.2.2 приведен список оборудования, которое используется для осуществления НИР.

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

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



Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн (таблица 3.2.2.3).

Месячный должностной оклад работника:

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

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

Для научного руководителя:

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

Для магистранта:

$$Z_{дн(М)} = \frac{26000 \cdot 10,4}{196} = 1380 \text{ руб.}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 3.2.2.3.

Таблица 3.2.2.3 – Баланс рабочего времени

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

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

Для научного руководителя:

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

Результаты расчета основной заработной платы исполнителей приведены в таблице 3.2.2.4.

Таблица 3.2.2.4 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$ , руб	$k_p$	$Z_м$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{зп}$
Научный руководитель	30000	1,3	39000	1998	27	53946	60959
Магистрант	20000	1,3	26000	1380	83	114506	114506

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	114506
Дополнительная зарплата, руб.	7012,98	–
Зарплата исполнителя, руб.	60959	114506
Итого	175465	

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.

Для научного руководителя:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{ОСН} + З_{ДОП}) = 0,3 \cdot (53946 + 7012,98) = 18287,7.$$

Для магистранта:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{ОСН} + З_{ДОП}) = 0,3 \cdot 114506 = 34351,8.$$

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

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

К накладным расходам относятся:

- затраты на текущий ремонт зданий и сооружений, оборудования;
- затраты на заработную плату, обучение и содержание административно-управленческого аппарата;
- отчисления на уплату единого социального налога;
- затраты арендную плату за офис, склад продукции;
- отчисления на социальное страхование и разного рода обязательные платежи;
- затраты, связанные с эксплуатацией и содержанием основных средств;
- содержание офиса, оплату коммунальных услуг.

Расчет ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{ОСН} + З_{ДОП})$$

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

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

Проведем расчет затрат на амортизацию. Данная статья включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования,

необходимого для проведения работ по тематике ВКР. Для выполнения экспериментальных исследований и разработки АСПТ использовалась компьютерная техника, а также экспериментальный стенд, общее время использования составило 122 дня. Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

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

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

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

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	2062,3
Стоимость оборудования	105000
Затраты на заработную плату	175465
Затраты на социальные отчисления	52640
Накладные расходы	6095,9
Итого	341260,9

В заключение можно сказать, что бюджет затрат НТИ составит 341260,9 руб. Основными затратами является заработная плата.

### 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	Усовершенствован ие системы, использование передовых технологий и методов (в частности, наиболее эффективных пожаротушающих 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 использованием интеллектуального алгоритма обратной связи
Низкая степень автоматизация системы.	Повышение уровня автоматизации системы
Большой расход воды и площади под резервуары с водой.	Экономия площади расположения оборудования за счет уменьшения расходуемого объёма 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:

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

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

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

Стоимость системы пожаротушения, где в качестве огнетушащего состава используются вода, составляет в среднем 250000 руб. (с учетом стоимости проектирования системы, технического обслуживания).

Тогда интегральный финансовый показатель разработки составляет:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{341260,9}{250000} = 1,31;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{250000}{250000} = 1$$

Как видно, применение системы пожаротушения на основе интеллектуального алгоритма обратной связи получается более

дорогостоящим, чем при системе пожаротушения, где используют дренчерные системы.

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

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

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

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

Таблица 3.3.2 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии / Объект исследования	Вес критерия	Исполнения	
		АСПТ дренчерного типа (исп.1)	АСПТ с применением интеллектуального алгоритма обратной связи (исп.2)
Повышение производительности труда пользователя	0,1	3	4
Удобство в техническом обслуживании	0,1	5	4
Надежность	0,05	2	3
Эффективность	0,25	2	5
Энергосбережение	0,26	1	4
Уровень автоматизации	0,1	2	4
Возможность контроля и управления системой оператором	0,04	3	3
Функциональность	0,1	3	4
Итого	1		

$$I_{pucn1} = 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 2 + 0,25 \cdot 2 + 0,26 \cdot 1 + 0,1 \cdot 2 + 0,04 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 2,28$$

$$I_{pucn2} = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,26 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,04 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 4,16$$

Из приведенных расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности является выгодным и

превосходит аналоги. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрено использование интеллектуального алгоритма с обратной связью, который приведет к снижению времени тушения пожара (и, соответственно, уменьшению времени работы оборудования системы, снижению затрат на электроэнергию и уменьшению расхода воды).

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

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

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения системы пожаротушения позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность вариантов выполнения системы пожаротушения представлена в таблице 3.3.3. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ) рассчитывается по формуле.

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

Таблица 3.3.3 – Сравнительная эффективность вариантов исполнения

Показатели	Исполнения	
	АСПТ дренчерного типа (исп.1)	АСПТ с применением интеллектуального алгоритма обратной связи (исп.2)
Интегральный финансовый показатель разработки	1	1,36
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,28	4,16
Интегральный показатель эффективности	2,28	3,06
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,73	1

По результатам таблицы 3.3.3 можно сделать вывод, что система пожаротушения с применением интеллектуального алгоритма обратной связи является наиболее эффективной по сравнению с системой пожаротушения



дренчерного типа. Разрабатываемая система превосходит конкурентов по интегральному показателю ресурсоэффективности разработки, по интегральному показателю эффективности и по сравнительной эффективности вариантов исполнения.

При выявлении потенциальных потребителей результатов НТИ установлено, что основными потребителями разрабатываемой системы являются арендодатели недвижимости.

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.

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 на оборудование и затраты на заработную плату. Общие затраты на НТИ составили 341260,9 руб.

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

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

Рассчитаны интегральные финансовые показатели разработки, интегральные показатели ресурсоэффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения. В результате расчетов установлено, что разрабатываемая система по данным показателям превосходит конкурентов. Прямого аналога разрабатываемой системе нет. Особенностью системы является ее универсальность и многофункциональность.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО (полностью)	
5БМ13		Свириденко Александр Сергеевич	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н.Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСПТ жилого помещения на базе интеллектуального алгоритма обратной связи	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения;</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации.</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> автоматическая система пожаротушения жилого комплекса на базе интеллектуального алгоритма обратной связи</p> <p><i>Область применения:</i> жилые помещения</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория</p> <p><i>Размеры помещения:</i> площадь не более 30 м<sup>2</sup></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> рабочий стол, модель здания, сварочные аппараты, насосы, печное оборудование, пожарные извещатели.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющихся в рабочей зоне:</i> ведение экспериментальных исследований, обслуживание оборудования и механизмов, управление технологическим процессом.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<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><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов;</li> <li>– расчет уровня опасного или вредного производственного фактора.</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная напряженность электрического поля;</li> <li>– превышение уровня шума</li> <li>– психофизиологическое воздействие на организм человека</li> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны.</li> </ul> <p><b>Опасные факторы:</b></p>

	<p>– поражение электрическим током</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> тепловая изоляция</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения</p>
<b>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></b>	Потенциальным негативным воздействием на атмосферу является выделение углекислого газа, сажи.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></b>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– короткое замыкание;</li> <li>– утечка горючего топлива.</li> </ul> <p>Наиболее типичные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– короткое замыкание.</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Свириденко Александр Сергеевич		

#### 4 Социальная ответственность

Темой дипломной работы является разработка автоматической системой пожаротушения жилого помещения на базе интеллектуального алгоритма обратной связи.

Система применяется для тушения пожаров в жилых комплексах. Разрабатываемая автоматическая система пожаротушения является более эффективным средством борьбы с пожарами в жилых помещениях по сравнению с существующими системами пожаротушения, поскольку задействовано широкая группа специализированных газоаналитических, тепловых и пожарных сенсоров, а также используется интеллектуальный алгоритм обратной связи.

Потенциальными потребителями данной системы являются компании, имеющие коммерческую недвижимость для предоставления помещений для аренды.

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. Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который осуществляет контроль за работой системы. Деятельность оператора направлена на оценку и обработку поступающей информации. Особенности деятельности являются анализ поступающей информации, обнаружение неисправностей системы, анализ показаний приборов. Поэтому объектом исследования данного раздела является рабочее место оператора, которое реализовано на базе персонального компьютера с цветным графическим монитором, на который выводится мнемосхема с параметрами системы пожаротушения.

#### 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 03.04.2018) допуск работника к исполнению им трудовых обязанностей без прохождения в установленном порядке обучения и проверки знаний требований охраны труда, а также обязательных при поступлении на работу и в течение трудовой деятельности медицинских осмотров, обязательных медицинских осмотров в начале рабочего дня (смены), обязательных психиатрических освидетельствований или при наличии медицинских противопоказаний влечет наложение административного штрафа на должностных лиц в размере от пятнадцати тысяч до двадцати пяти тысяч рублей. Поэтому оператор обязан пройти вводный инструктаж при приеме на работу, первичный инструктаж, который проводится на рабочем месте перед тем, как сотрудник начинает самостоятельную работу, а также повторные инструктажи по охране труда, которые проводятся минимум раз в 6 месяцев. Перед поступлением на работу оператору необходимо пройти медицинский осмотр за счет организации. Согласно требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 женщины со времени установления беременности переводятся на работы, не связанные с использованием ПК, или для них ограничивается время работы с ПК (не более 3 ч за рабочую смену).

Порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по

выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ).

Комплексная инженерная деятельность руководителя на каждом предприятии всегда должна учитывать три уровня социальной ответственности за решения, которые он принимает для исполнения федерального законодательства и нормативных правовых актов в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций. Первый уровень, также базовый, является обязательной составляющей социальной ответственности и включает выполнение следующих обязательств: проведение своевременной оплаты налогов, выплаты заработной платы.

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

И третий уровень – это наивысший уровень ответственности, который предполагает деятельность, направленную на повышение качества жизни населения, развитие общества, на территории, где функционирует предприятие. Под специальными правовыми нормами трудового законодательства понимаются права сотрудников предприятия. Сотрудник имеет право на рабочее место, на обучение безопасным приемам и методам труда. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны подразумевают, совокупность мер для обеспечения комфортной работы сотрудника. Законодательством предусмотрен ГОСТ 12.2.032-78, который полностью описывает каким правилам и нормам должно соответствовать рабочее место [31].

Правильная организация рабочего места оператора АСУ позволит снять напряжённость в работе, уменьшить неблагоприятные чрезмерные нагрузки на организм и, как следствие, повысить производительность труда [32].

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 2.2.4.548 – 96 [88]. 2. СП 52.13330.2011 [89], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [90], СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [91]. 3. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [92]. 4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [93]. 5. ГОСТ 12.1.038–82 [94]. 6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123 [95].
2. Превышение уровня шума	+	+	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
4. Психофизиологическое воздействие на организм человека	+	+	+	
5. Повышенная напряженность электрического поля	+	+	+	

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

### 4.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Согласно требованиям СанПиН 2.2.4–548–96 [33], необходимо соблюдать оптимальные величины показателей микроклимата в производственных помещениях, где выполняются работы операторского типа, связанные с нервно–эмоциональным напряжением (на пультах и постах управления технологическими процессами).

Показатели микроклимата бывают допустимые и оптимальные. Под воздействием допустимых значений показателей микроклимата работник



может ощущать небольшой дискомфорт, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Ухудшение состояния здоровья при этом не возникает.

При оптимальных микроклиматических условиях обеспечивается сохранение нормального функционального и теплового состояния организма, создаются предпосылки для высокого уровня трудоспособности. К показателям, характеризующим микроклимат в производственных помещениях, относятся температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения. В таблице 4.2.1.1 представлены допустимые и оптимальные значения показателей микроклимата для теплого периода года (плюс 10 °С и выше) и для холодного периода года для категории работ 1а (работа оператора) [33].

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

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

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

#### 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 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий» [85] и СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [34].

Согласно действующим санитарным правилам [34] постоянное наблюдение за ходом технологического процесса относится в VIII разряду (подразряд – а) зрительных работ, при котором искусственное освещение в помещении пульта управления должно осуществляться системой общего освещения или комбинированного освещения (освещенность от общего освещения – 200 лк). Общее освещение может быть равномерным и локализованным. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300–500 лк. При этом освещение не должно создавать бликов на поверхности монитора компьютера. Освещенность монитора не должна быть более 300 лк. Естественное освещение осуществляется через световые проемы в наружных стенах здания (окна) с коэффициентом естественного освещения КЕО 1,8% и при совместном освещении с КЕО – 0,6 [35].

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

### 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 СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [38] максимальный уровень звука на рабочем месте оператора не должен превышать 65 дБА. Снизить уровень шума на рабочем месте можно с помощью:

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

### 4.2.4 Психофизиологическое воздействие на организм человека

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

С целью предупреждения преждевременной утомляемости оператору следует делать перерывы на 10–15 минут через каждые 45–60 минут. Во время перерывов для снижения нервного и эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора рекомендуется выполнять комплекс упражнений физкультурных минуток [39].

#### 4.2.5 Повышенная напряженность электрического поля

Согласно ГОСТ 12.1.038–82 [40] 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.

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

Для предотвращения возможности поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, корпуса приборов и инструментов заземляются, а также при работе возле объекта управления используются средства индивидуальной защиты [39]. Выбор и установку электрооборудования необходимо выполнять в соответствии с условиями окружающей среды.

Все работы по устранению неисправностей производятся квалифицированным персоналом.

#### 4.2.6 Расчет системы искусственного освещения

В ходе проведения лабораторных исследований выявлена опасность – недостаточная освещенность рабочего места.

Корректирующие мероприятия – установить систему освещения согласно требованиям.

Размер помещения, в котором оператор АСПТ проводит работу - 5×5 м. Установлена 1 лампа.

При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. Для освещения помещения используют естественный свет и свет от источников искусственного освещения.

Искусственное освещение предусматривается в помещениях, в которых недостаточно естественного света, или для освещения в часы суток, когда естественная освещенность отсутствует.

На производстве в помещениях управления используется совмещенное освещение, включающее естественный и искусственный свет. Для освещения помещения применяют лампы накаливания. Согласно СП 52.13330.2016 для работ средней точности при среднем контрасте и среднем фоне, при одном общем освещении, освещенность рабочего места люминесцентными лампами принята равной  $E_n = 300$  лк.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 5 \cdot 5 = 25 \text{ м}^2,$$

где:  $A$  – длина, м;  $B$  – ширина, м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_n = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛД-65, световой поток которой равен  $\phi_{лд} = 3750$  лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР – 2-80. Этот светильник имеет две лампы мощностью 80 Вт каждая, длина светильника равна  $s = 1531$  мм, ширина –  $d = 266$  мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина, которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\eta = 1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$H = h_n - h_p,$$

где:  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОД:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,8 - 0,3 = 2,4 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

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

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{5}{2,64} = 1,89 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{5}{2,64} = 1,89 \approx 2$$

Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 2 = 4$$

Расстояния от крайних светильников до стены и расстояния между соседними светильниками с учётом длины помещения определяются по формулам:

$$A = N_a \cdot S + L_1 + \frac{2}{3}L_1$$
$$5000 = 2 \cdot 1531 + L_1 + \frac{2}{3}L_1$$
$$L_1 = 1162 \text{ мм} = 1,162 \text{ м}$$
$$I_1 = \frac{L_1}{3} = \frac{1162}{3} = 387,3 \text{ мм} = 0,38 \text{ м}$$

Расчёт расстояния от крайних светильников до стены с учётом ширины помещения:

$$B = N_b \cdot D + L_2 + \frac{2}{3}L_2$$
$$5000 = 2 \cdot 266 + L_2 + \frac{2}{3}L_2$$
$$L_2 = 2680 \text{ мм} = 2,7 \text{ м}$$
$$I_2 = \frac{L_2}{3} = \frac{2680}{3} = 893 \text{ мм} = 0,893 \text{ м}$$

Размещаем светильники в один. На рисунке 5.2.6.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

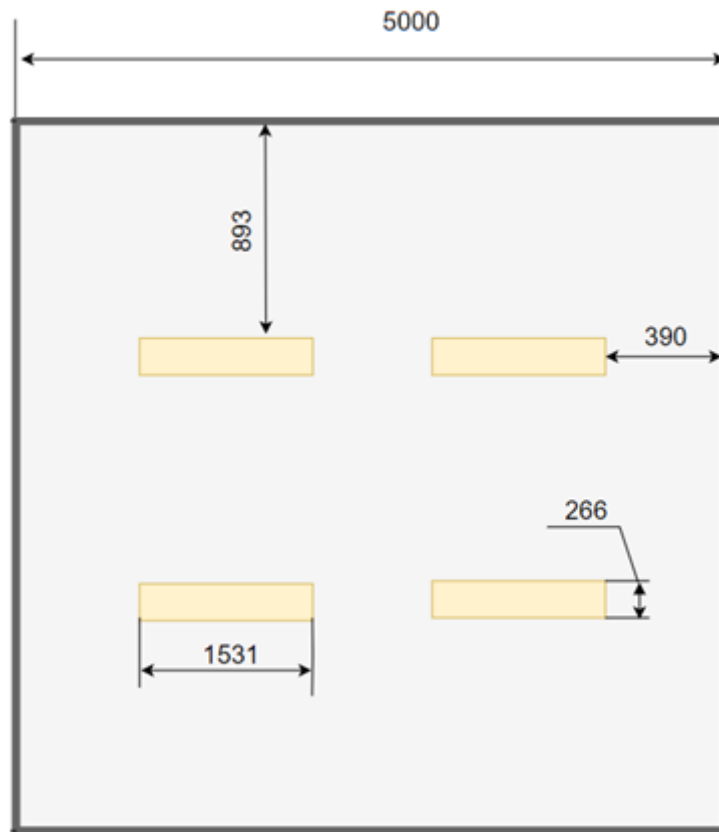


Рисунок 4.2.6.1 – План помещения и размещения светильников люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \times (a + b)} = \frac{5 \cdot 5}{2,4 \cdot (5 + 5)} = 1,04$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_n = 70\%$ ,  $\rho_c = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,04$  равен  $\eta = 0,43$ . Количество ламп в 4 светильниках – 8.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{л} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot N} = \frac{300 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,43} = 3597 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \cdot 100\% \leq 20\%$$



$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{3750 - 3597}{3750} \cdot 100\% = 4\%$$

Таким образом,  $-10\% \leq 4\% \leq 20\%$ , следовательно, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Электрическая мощность всей осветительной системы:

$$P = N_{\text{л}} \cdot p_{\text{л}} = 4 \cdot 80 = 320 \text{ Вт}$$

### 4.3 Экологическая безопасность

4.3.1. Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду

Воздействие на атмосферу возможно в результате монтажа технического оборудования, а также при работе оборудования значительное долгое время. Однако данное воздействие на атмосферный воздух незначительное. Источником вредных газовыделений может стать утечка рабочей жидкости из технологического оборудования или дефекта монтажа. 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.

### 4.3.2. Решения по обеспечению экологической безопасности

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

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

#### 4.4 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 [41].

##### 4.4.1 Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения

При работе системы пожаротушения водой 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. Некачественный монтаж емкостей, трубопроводов, задвижек, расходомеров и других приборов может привести к утечке горючего топлива, что может стать причиной возгорания. Поэтому монтаж оборудования должны производить квалифицированные специалисты [94]. Также на данной АСУ есть опасность поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

#### 4.4.2 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 [42]. Для предотвращения возгораний помещение, где размещена система, 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 и в доступном месте – пожарный щит.

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 [42] 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 данной работы была разработана автоматическая система пожаротушения на базе интеллектуального алгоритма с обратной связью. Была сформированы требования к АСПТ, разработана проектная документация (структурная схема, функциональная схема, электрические схемы, монтажная схема, щит управления, заказная спецификация). Произведен выбор технологического оборудования, требуемого для реализации АСПТ. Проведена разработка мнемосхемы в программном обеспечении MasterSCADA. Проведено экспериментальное определение характеристик срабатывания технических средств обнаружения пожара при различных механизмах нагрева, приводящих к пиролизу и последующему пламенному горению типичных для помещений материалов, а также выявлена наилучшая комбинация технических средств, необходимой и достаточной для обнаружения возгорания на ранних стадиях. Успешно внедрена интеллектуальная система с обратной связью в АСПТ.

Преимущества системы является повышение эффективности в обнаружении очагов возгораний на ранних стадиях, что в свою очередь уменьшает материальные потери.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Festag, S. The Statistical Effectiveness of Fire Protection Measures: Learning from Real Fires in Germany, *Fire Technol.* 57 (2021) 1589–1609. <https://doi.org/10.1007/S10694-020-01073-Y>.
2. Himoto, K. Conceptual framework for quantifying fire resilience – A new perspective on fire safety performance of buildings, *Fire Saf. J.* 120 (2021) 103052. <https://doi.org/10.1016/J.FIRESAF.2020.103052>.
3. Sheng, D., Deng, J., Zhang, W., Cai, J., Zhao, W., Xiang, J. A Statistical Image Feature-Based Deep Belief Network for Fire Detection, *Complexity*. (2021). <https://doi.org/10.1155/2021/5554316>.
4. EMERCOM of Russia, On the state of protection of the population and territory of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2020, Moscow, 2021.
5. GOST 12.1.007-76 Occupational safety standards system (SSBT). Harmful substances. Classification and general safety requirements (with Amendments No. 1, 2), GOST dated March 10, 1976 No. 12.1.007-76., 2021.
6. SP 12.13130.2009 Definition of categories of premises, buildings and outdoor installations in terms of explosion and fire hazard (with Amendment No. 1), 2021.
7. Torero, J.I., Gerhard, M.F., Martins, M.A., Zaroni, B., Rashwan, T.L., Brown, J.K. Processes defining smouldering combustion: Integrated review and synthesis, *Prog. Energy Combust. Sci.* (2020). <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100869>.
8. Abdulrahman, S.A., Chetehouna, K., Cablé, A., Skreiberg, Ø., Kadoche, M. A review on fire suppression by fire sprinklers:, <https://doi.org/10.1177/07349041211013698>. (2021) 073490412110136. <https://doi.org/10.1177/07349041211013698>.
9. Jiang, Z., Chow, W.K., Tang, J., Li, S.F. Preliminary study on the suppression chemistry of water mists on poly(methyl methacrylate) flames, *Polym. Degrad. Stab.* 86 (2004) 293–300.

<https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2004.03.024>.

10. Meshman, L.M., Bylinkin, V.A., Gubin, R.Y., Didyaev, A.G., Kazakov, A.V., Romanova, E.Y. Method and system of targeted activation of water mist, RU 2522944 C2. 2014. №16, 2014.
11. Elangovan, M., Surya Prakash, D., Hemadri, C., Development of Toxic Gas Monitoring and Alarm System, Lect. Notes Mech. Eng. (2021) 39–48. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6428-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6428-8_3).
12. Zhang, Y., Yang, X., Luo, Y., Gao, Y., Liu, H., Li, T. Experimental study of compartment fire development and ejected flame thermal behavior for a large-scale light timber frame construction, Case Stud. Therm. Eng. 27 (2021) 101133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101133>.
13. Huang, Y., Zhou, X., Cao, B., Yang, L. Computational fluid dynamics-assisted smoke control system design for solving fire uncertainty in buildings, Indoor Built Environ. 29 (2020) 40–53. <https://doi.org/10.1177/1420326X19842370>.
14. Ge, L., Shao, Y., Wang, Y., Zhang, G., Zhang, Z., Liu, L. Experimental research on inerting characteristics of carbon dioxide used for fire extinguishment in a large sealed space, Process Saf. Environ. Prot. 142 (2020) 174–190. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.005>.
15. Kinsman, P., Maddison, T.E., Hazard Assessment for Fires in Agrochemical Warehouses: The Role of Combustion Products, Process Saf. Environ. Prot. 79 (2001) 145–156. <https://doi.org/10.1205/09575820150511920>.
16. Qiu, X., Xi, T., Sun, D., Zhang, E., Li, C., Peng, Y., Wei, J., Wang, G. Fire Detection Algorithm Combined with Image Processing and Flame Emission Spectroscopy, Fire Technol. 54 (2018) 1249–1263. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0727-x>.
17. Le Maoult, Y., Sentenac, T., Orteu, J.J., Arcens, J.P. A new approach based on a low cost CCD camera in the near infrared, Process Saf. Environ. Prot. 85 (2007) 193–206. <https://doi.org/10.1205/psep06035>.
18. Foggia, P., Saggese, A., Vento, M. Real-Time Fire Detection for Video-Surveillance Applications Using a Combination of Experts Based on Color, Shape, and Motion, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 25 (2015) 1545–

1556. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2015.2392531>.
19. Almanasra, S., Alshahrani, A. Alternative Real-time Image-based Smoke Detection Algorithm, *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst.* 5 (2020) 123–128. <https://doi.org/10.25046/aj050316>.
  20. Baalisampang, T., Saliba, E., Salehi, F., Garaniya, V., Chen, L. Optimisation of smoke extraction system in fire scenarios using CFD modelling, *Process Saf. Environ. Prot.* 149 (2021) 508–517. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2020.11.036>.
  21. Составной герконовый уровнемер ПМП-128. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://www.nppsensorm.ru/product/106> (дата обращения: 12.10.2019).
  22. Blancett FloClean – турбинный металлический расходомер гигиенического типа. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <https://rusautomation.ru/rashodomery/blancett-floclean> (дата обращения: 12.10.2019).
  23. Ультразвуковой расходомер жидкостей. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://www.us800.ru/> (дата обращения: 12.10.2019).
  24. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/59.pdf> (дата обращения: 12.10.2019).
  25. Блок ручного управления БРУ–32. [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: [http://vtmarket.ru/bru-42,\\_bru-32,\\_bru-22\\_blok\\_ruchnog](http://vtmarket.ru/bru-42,_bru-32,_bru-22_blok_ruchnog) (дата обращения: 12.10.2019).
  26. ГОСТ 16442–80. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). – М.: Стандартинформ, 1982. – 24 с.
  27. ГОСТ 1508–78 Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1980. – 15 с.



28. ГОСТ 10348–80 Кабели монтажные многожильные с пластмассовой изоляцией. Технические условия– М.: ИПК Издательство стандартов, 1982. – 9 с.
29. Кабель КИПЭВ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cable-set.com/kabel-kipev> свободный. – Загл. с экрана
30. Штекерный модуль для защиты от перенапряжений - РТ 4X1-12АС-ST - 2838348 [Электронный ресурс]: офиц. Сайт URL: 2. 3. <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?uri=pxc-oc-itemdetail;pid=2838348&library=ruru&tab=1> (дата обращения: 13.12.2019).
31. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 11 с.
32. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. –39 с.
33. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
34. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
35. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ.
37. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
38. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно–вычислительным машинам и организации работы.
39. Правила устройства электроустановок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ruscable.ru/info/pue/pue7.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

40. Федеральный закон РФ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123–ФЗ (ред. от 29.07.2017).
41. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
42. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Москва: Изд. Деан, 2007. – 21 с.

# Приложение А (Обязательное)

## Мнемосхема системы пожаротушения

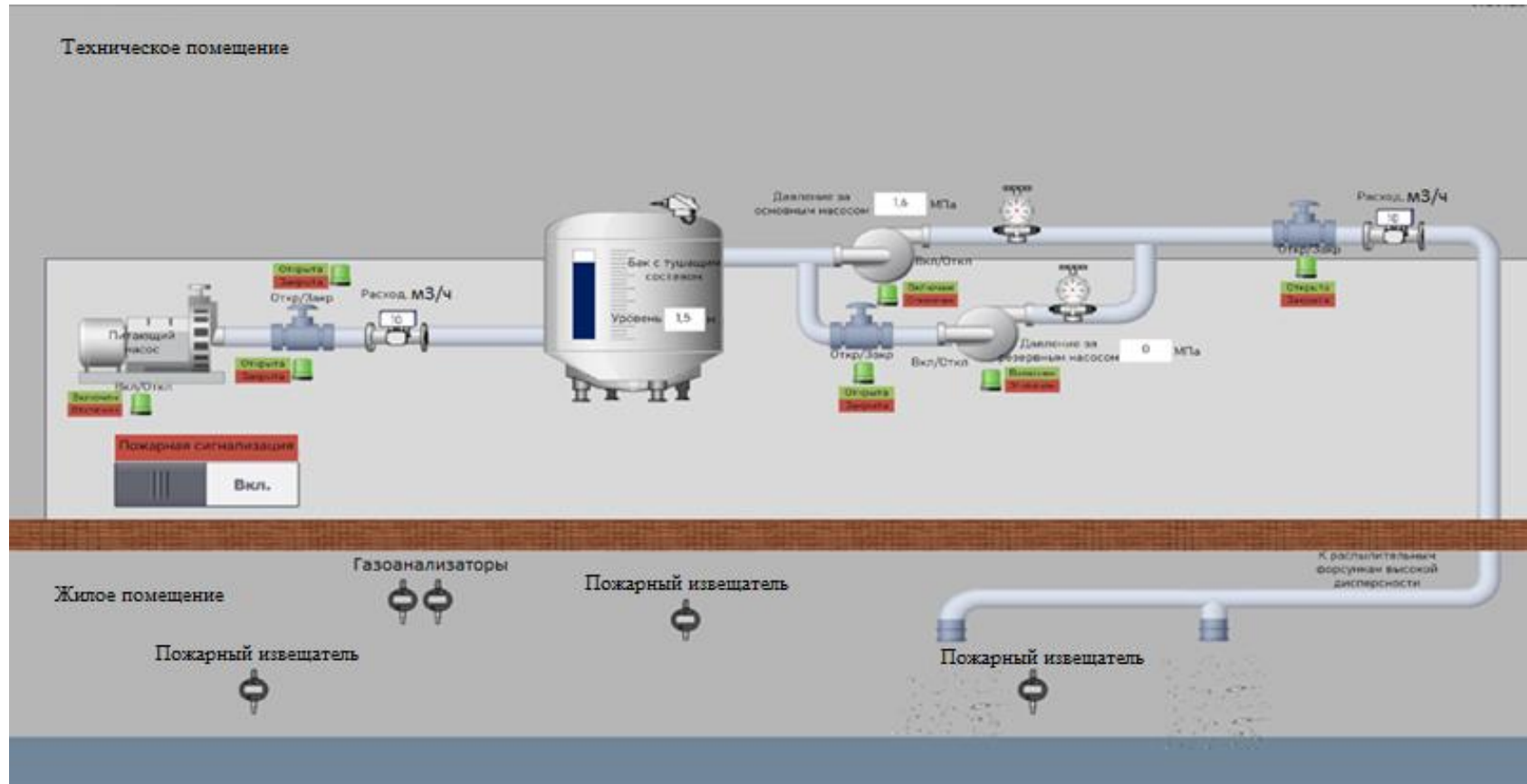


Рисунок В.1– Мнемосхема системы пожаротушения

## Приложение Б

(Обязательное)

Диаграмма Ганта

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 Б.1 – Диаграмма Ганта

## Приложение В

### Implementation and experimental research and design of automated control systems for residential buildings

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Свириденко Александр Сергеевич		

Руководитель:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Гончарова Л.А.	К.П.Н.		

## Introduction

Timely detection of fires at incipient stages is key to their successful containment and suppression, as well as to saving people's lives and resources [1–3]. The statistics in Russia [4] show that 439394 fires were recorded in 2021. These resulted in the deaths of 8313 people. 8434 people were injured. Fires in buildings and facilities account for more than 90% of deaths and more than 80% of casualties [4]. The specific aspects of a fire start and development depend on a number of factors, the main ones being the type and characteristics of materials and substances. Combustible substances are classified [5] into gases, vapors, liquids, solid materials and aerosol. Most industrial and residential premises belong to class A in terms of fire and explosion hazard [6]. Class A premises contain the following main solid [5] materials: wood of different tree types, paper products (cardboard, paper), linoleum, etc. The most typical causes of compartment fires [4] are careless handling of fire, an electrical short circuit and unsafe operation of heating equipment [7]. According to Russia's EMERCOM data [4], careless handling of fire accounts for more than 70% of all the fires, emergency operation of electrical equipment and networks for 12% and unsafe operation of heating equipment for about 6%. The main way to fight compartment fires is to quickly detect a fire outbreak and issue an alert about it.

A serious problem of modern firefighting systems [8,9] is excessive dousing of spaces with a fire-extinguishing agent (in particular, water) in the course of fire suppression. This usually causes severe economic damage. To reduce this damage, adaptive automated fire suppression systems with feedback are being extensively developed [10–13]. These allow minimizing the risks and losses by monitoring the fire situation in real time. Thus, for instance, a system of targeted activation was developed [10] that makes it possible to identify the fire zone of outbreak and turns on single sprinklers or a group of them to suppress the fire. A toxic gas detection system using sensors was proposed by Elangovan et al. [11]. It activates a fire suppression system at the ignition and growth stages. The specific combustion behavior of wooden constructions indoors was analyzed in [12]. Huang et al. [13]

present an intelligent fire detection and suppression system capable of providing fire safety in real time during different types of fires. The software and hardware solutions developed in [10–13] make it possible to significantly optimize the firefighting system response when a fire has been detected. These are no one-stop solutions yet for the full range of potential fire hazard sources. The latter are characterized by different temporal and thermal conditions of fire development from when the thermal decomposition of heated materials begins. Consequently, it is important to perform a comparative analysis of the performance characteristics of the most promising sensors, recording the combustion (fire hazard) of substances and materials in the presence of the most widespread potential fire hazard sources specified above [14,15]. Another relevant area of research is using fire detection systems relying on video surveillance [16–19] and modern gas analysis sensors [11,15,19]. The comparison of the reaction time of the above fire detection methods utilizing off-the-shelf fire sensors can obviously contribute to earlier fire detection, thus reducing or eliminating the unfavorable effect of excessive water dousing (when using water mist technologies) that causes significant financial losses. So far, experiments have been mainly conducted with open flame sources. There are few findings on the direct simulation of ignition when two other factors are involved.

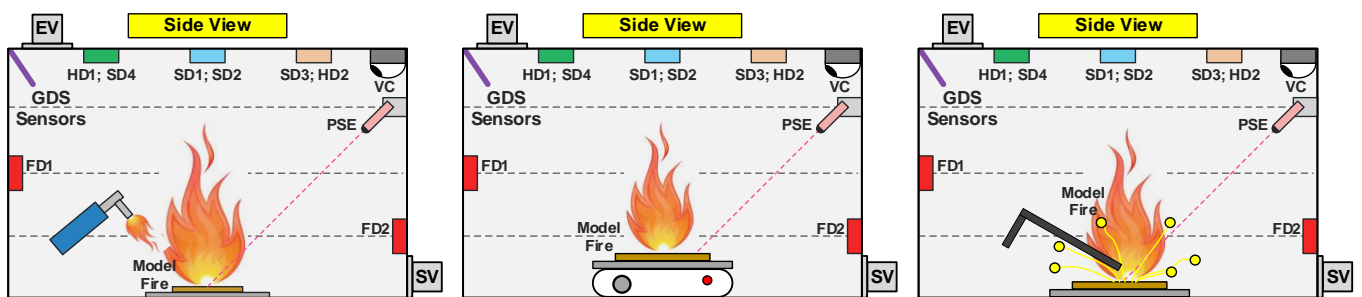
The purpose of this research was to experimentally determine the characteristics of fire detection equipment activation (delay time and frequency of activation) when applying different heating mechanisms leading to the pyrolysis and subsequent flame combustion of typical indoor materials, as well as to search for the optimal (in terms of the fire detection rate) combination of equipment necessary and sufficient to detect a fire outbreak at an early stage.

### 1.1 Experimental technique

The conditions reproduced in the experimental research corresponded to three most common causes of smoke blanketing and fire in buildings. A gas burner, an

inverter welder and a hot plate were used to reproduce the potential fire hazard sources in the experiments.

Fig. 1.1.1 presents the layout and appearance of the experimental setup. It consisted of a set of elements and devices to make a physical model of the initial fire stage in a building to define the characteristics of detection, containment and suppression of fires involving combustible materials typical of closed spaces. The models of A fire class made up of typical indoor combustible materials were used (Section 1.2).



*a*



*b*

Fig. 1.1.1. Experimental setup layout of equipment in the setup and illustration of three typical modes of a model fire start (*a*), appearance of the main elements of the complex (*b*).



The experimental setup (Fig. 1.1.1) with a fire-resistant body included a distribution board, recording devices (DAIM, FACD) and technical devices (thermocouples, high-speed pyrometer, GDS, FD, HD, SD, VC), a PC to collect and record information about the characteristics of ignition and fire extinguishing, as well as to receive signals from fire detectors mounted inside the fire-resistant setup body. The fire-resistant setup (Fig. 1.1.1) was a hollow parallelepiped with the dimensions  $1.5 \times 1 \times 1.25$  m (D $\times$ W $\times$ H). Its side walls were made of 10-mm-thick fire-resistant magnesium oxide boards. An observation window  $0.7 \times 0.8$  m in size was on one of the side walls. It was made of 4-mm-thick fire-resistant glass (Fig. 1.1.1 *a*). To air the chamber of the setup (remove smoke), it had cylinder-shaped supply (SV) and exhaust ventilation (EV) ducts 120 mm in diameter. The SV duct was mounted in the lower part of the setup side wall, the EV duct was on the opposite side in the upper part of the setup (Fig. 1.1.1 *a,b*). To prevent the air inflow and combustion product outflow, the SV and EV ducts were additionally fitted with sealing gate valves. In the setup space (Fig. 1.1.1 *a,b*), there were point-type detectors (FD, HD, SD, TC) to identify the fire behavior and moment of fire outbreak, GDS sensors to control the component composition of the resulting products of thermal decomposition and oxidation of combustible materials and VC to capture the images of combustion.

The GDS was made up of industrial (Testo-340 and Senson-SV-50-23) and laboratory (Test-1) gas analyzers, whose probes were placed in the setup space (Fig. 1.1.1 *b*). The GDS recorded the trends of the CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations during the pyrolysis and combustion of model fires. The GDS was connected to the PC via USB. The gas concentration data were saved on the PC using the Test, EasyEmission and OPM software for subsequent processing and analysis.

Rapid thermal decomposition and ignition conditions were reproduced with three fire hazard sources:

1. *Gas burner.* A model fire consisting of combustible material (Section 2) was arranged on a metal pallet ( $30 \times 20$  cm in size) placed in the lower part (base) of the setup in the center (Fig. 1.1.1 *b*). The fire was started by a gas burner applied uniformly over the surface area. The flame application time ranged from 10 to 90 s

depending on the fire sizes conditioned by the mass of materials to burn. Minimum flame application time was for paper, and maximum was for wood.

2. *Hot plate.* A model fire was arranged on a metal pallet (15×15 cm in size). The pallet was placed on the surface of a hot plate preheated to a certain temperature ( $T_s$ ). The plate was in the lower part (base) of the experimental setup in its center (Fig. 1*b*).

3. *Welder.* A model fire was made up on a metal pallet (30×30 cm in size), placed in the lower part (base) of the experimental setup in its center (Fig. 1.1.1 *b*). The necessary short-circuit current was set at the inverter outlet. A short contact of the welder electrode with the metal pallet was initiated. It led to the local heating and spark emission, as it occurs during the short circuit of a transmission line.

For each case (ignition mechanism, combustible material) at least five experiments were carried out under constant initial conditions. For each type of combustible material and ignition scheme, the following parameters were recorded: the surface temperature of reacting materials involved in the model fire ( $T_f$ ); temperature ( $T$ ) in different points of the setup chamber; CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations in fixed points of the experimental setup space; the activation delay time of fire detectors and specific aspects of their operation during a fire ( $t_D$ ). Finally, the obtained mass of data was analyzed: for each set of initial parameters (mechanism of thermal decomposition initiation and type of combustible material) detectors or their combination allowing the fastest fire detection were identified.

## 1.2 Materials and characteristics

In experiments gorenje and extinguishing processes of model fires of class “A” were investigated. For the manufacture of model hearths, the most typical for most premises (residential, warehouse, office) combustible materials were used: wood bars, linoleum on a heat-insulating substrate, cardboard, paper. The characteristics of the typical considered combustible materials are given in Table 1.2.1.

Table 1.2.1 - Characteristics of the combustible materials used in the experiments.

Material	characteristics
Pine wood	The density of pine is 520 kg / m <sup>3</sup> with a humidity of 12-15%. The total heat of combustion of pine wood is 4.4 kcal/kg.  When fire wood is formed by water vapor, heat, carbon dioxide and monoxide, as well as aldehydes, acids and various gases.
Cardboard	It largely consists of recyclable materials (semi-cellulose, straw, waste paper, etc.). The remaining part is occupied by primary cellulose fibers.
Linoleum	Linoleum made on a fabric basis is polyvinyl chloride with the addition of plasticizers, fillers and dyes. High-quality material does not support an active fire process.  When fire polyvinyl chloride the main product of combustion is hydrogen chloride.

The area of the model foci in the experiments varied in the range  $S_f = 5-300$  cm<sup>2</sup>, the mass of the focus varied in the range  $m_f = 2,5-90$  g. These ranges are sufficient to extrapolate the results of studies on the foci of fires of various sizes. The final values of the  $S_f$  and  $m_f$  parameters depended on the type of material, as well as the specifics of the procedures for initiating ignition, localization and extinguishing foci.

### 1.3 Characteristics of fire detector activation

Fig. 1.3.1 presents the SD delay times and relative frequency of activation versus the short-circuit current, when reproducing the conditions of improper use and emergency operation of electrical equipment and networks (using a welder). The overall frequency of activation of each sensor type was calculated as the arithmetic mean of the frequency of sensor activation in each experiment:

$$P = (P_1 + P_2 + \dots + P_j) / j. \quad (1)$$

The relative frequency of sensor activation in each experiment was calculated as a ratio of the number of activated sensors to the total number of sensors:

$$P_j = n_a / n_D. \quad (2)$$

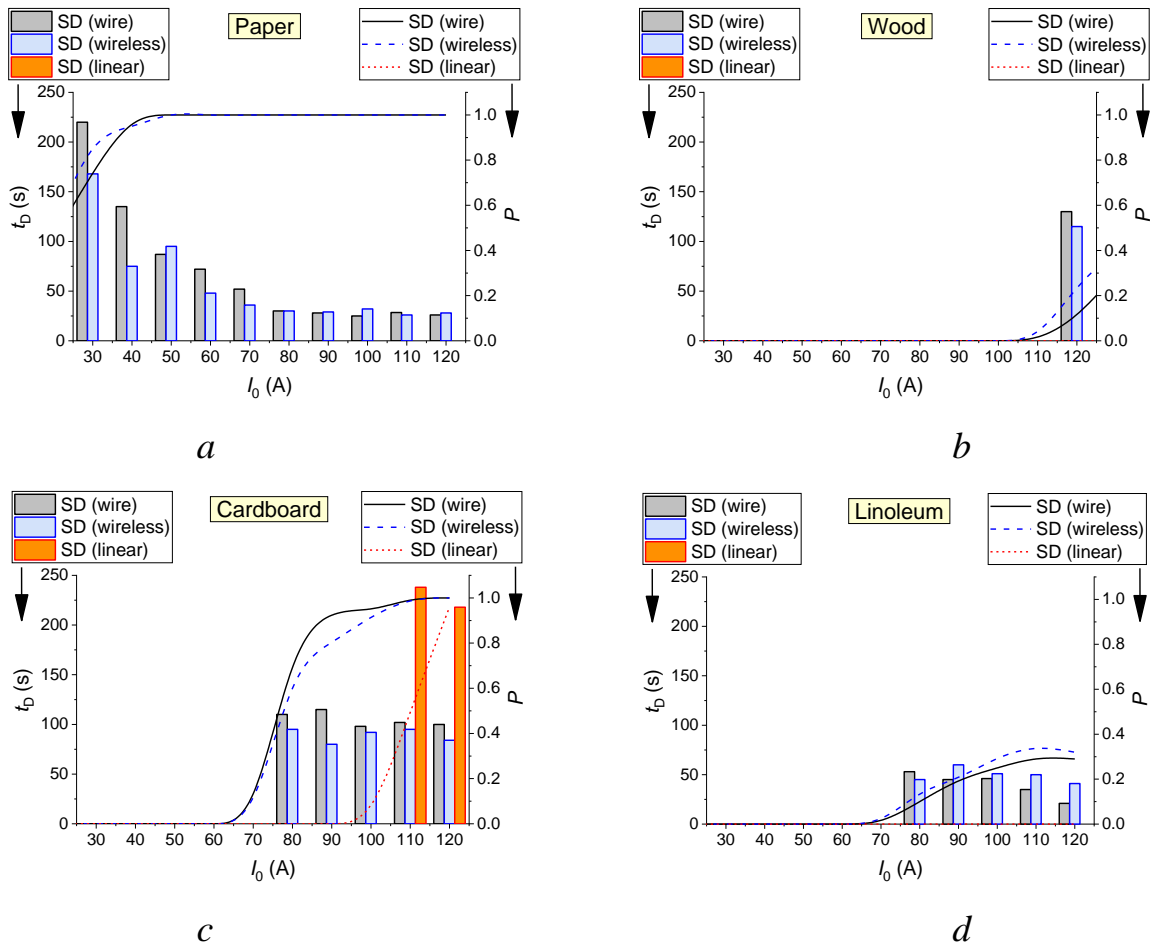


Fig. 1.3.1. Delay times and frequency of SD activation at different short-circuit current values using model fires with paper (*a*), wood (*b*), cardboard (*c*) and linoleum (*d*): SD (wireless) is a wireless smoke detector; SD (wire) is a smoke detector connected in the circuit; SD (linear) is a linear smoke detector.

Fig. 1.3.1 shows the average delay times and frequency of activation of fire detectors, when reproducing the conditions of careless handling of fire and improper use of heating equipment for all the model fires under study.

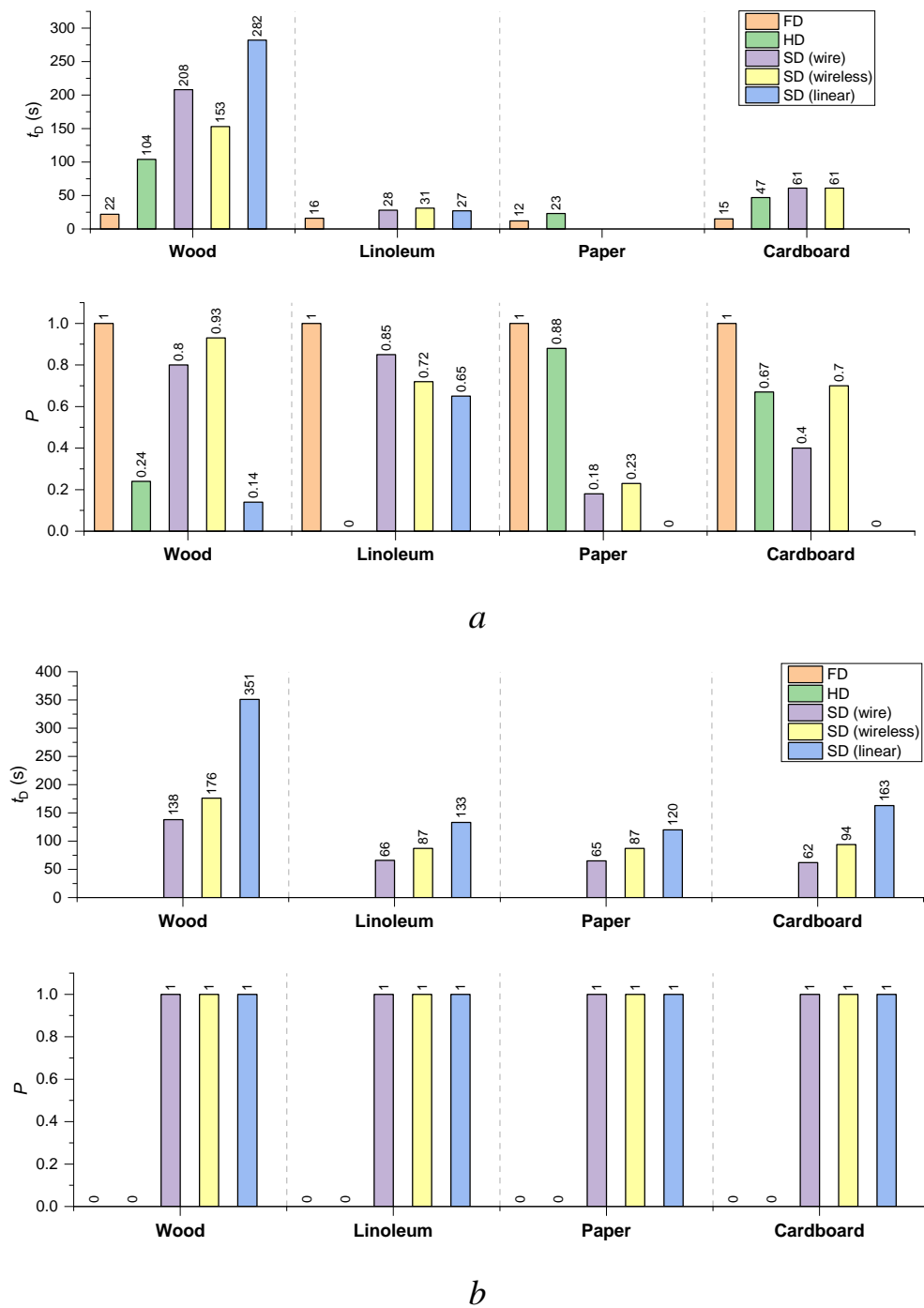


Fig. 1.3.2. Average delay times and frequency of activation of fire detectors, when reproducing the conditions of careless handling of fire (a) and improper use of heating equipment (b) for all the model fires under the study.

Fig. 1.3.2 shows that the values of  $t_D$  of different detector types may differ more than tenfold for the same combustible material and ignition mechanism. The greatest differences in  $t_D$  were recorded for the model fire involving wood; the smallest ones were for linoleum and paper. The data presented can also be used when

choosing the required number of a group of fire detectors. Thus, for high (close to 100%) probability of activation of a certain group of fire detectors, their number should be calculated as a value inversely proportional to the activation frequency ( $P$ ) and rounded up to an integer.

The analysis reveals the following main aspects:

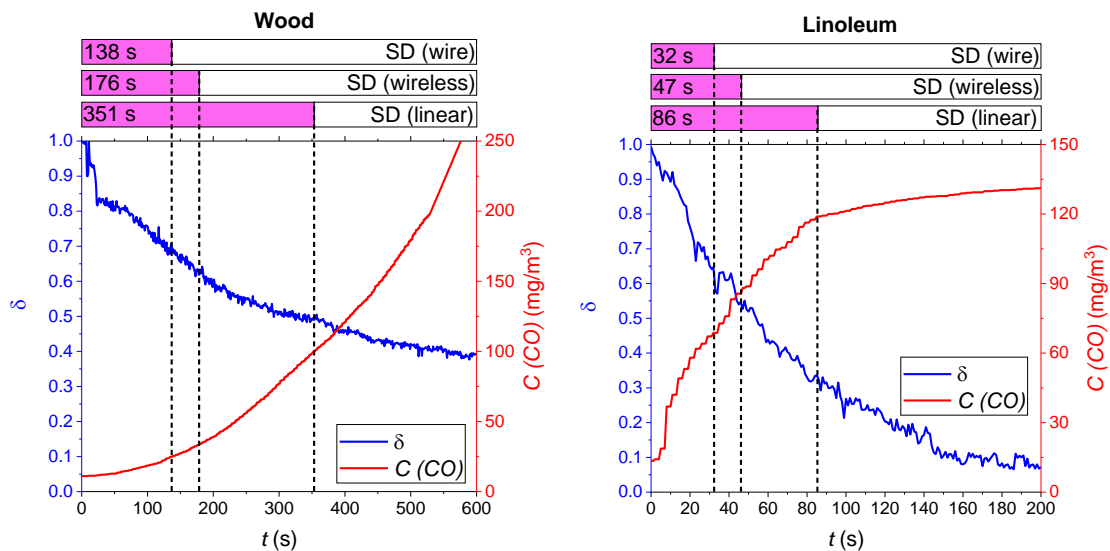
1. When a *hot plate* is used, flame combustion is not typical for most of the materials. There is usually extensive pyrolysis due to the gradual heating of the material. That is why FD and HD were not triggered in these experiments. With an increase in the hot plate temperature, the detector activation delay time decreases for all the four combustible materials. At the same time, variations in the hot plate surface area occupied by the model fire hardly change the SD activation delay time, except for the model fire consisting of paper. The SD activation delay time increases because with paper spread evenly over the surface, fewer pyrolysis and combustion products forming the smoke aerosol are released.

2. When a *welder* was used as an ignition source, the following aspects were identified. The model fire made up of wood did not ignite even at a short-circuit current of approx. 120 A. No smoldering or smoke generation was recorded in the experiments either. In some cases, when the short circuit duration exceeded 3–5 s, some SDs (Fig. 1.3.1 *b*) were triggered, which is due to rapid electrode heating. The experiments with model fires involving paper showed that even a short-circuit current of approx. 20 A is sufficient for the ignition of the combustible material and activation of all the SD, except the linear smoke detector (Fig. 1.3.1 *a*). The linear smoke detector was only triggered in the experiments with cardboard at a current of 120 A. The ignition of model fires consisting of wood and linoleum requires a stronger current. Thus, at a short-circuit current of 120 A, no smoldering or flame combustion was recorded. However, when a spark flies on linoleum, the inflow of thermal decomposition products is sufficient for the activation of wired smoke detectors (Fig. 1.3.1 *d*). Moreover, as it was mentioned above, a short circuit (usually no more than 3 s) is accompanied by smoke caused by the melting of the metal plate, which in some cases led to a short activation of smoke detectors.

3. When a *gas burner* was used in the experiments, there was sustainable flame combustion of the materials. Significantly, with model fires involving paper, its mass should be more than 80 g for the SD to get activated. This is not the case with other combustible materials. The flame detector was the first to respond.

#### 1.4. Comparison of experimental findings

To illustrate the efficiency of using different methods of fire detection, the data obtained were correlated and compared. Fig. 1.4.1 shows the cumulative results (relative intensity  $\delta$ , CO concentration, fire detector activation delay times) when reproducing the conditions of improper use of heating equipment (hot plate) for the model fires under study. In Fig. 1.4.1, the relative intensity  $\delta$  was obtained from analyzing the VC recordings; the CO concentration was from the GDS readings, and the activation delay times  $t_D$  (three bars in the upper part of each graph) were obtained by processing the data from different SD types. There are no HD or FD readings in Fig. 4, since these detectors were not triggered in the case of improper use of heating equipment (hot plate).



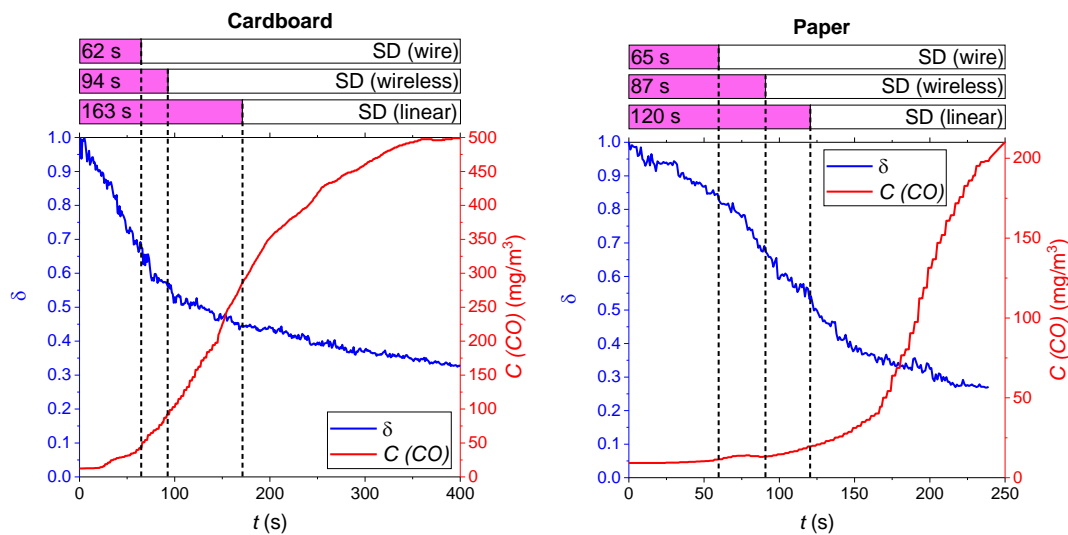


Fig. 1.4.1. Comparison of results (relative intensity  $\delta$ , CO concentration, fire detector activation delay times) when reproducing the conditions of improper use of heating equipment (*hot plate*) for the model fires under study.

Early fire detection methods differ by the threshold activation time. Thus, for instance, it is clear (Fig. 1.4.1) that the use of commercially available SD is not always an effective method of fire detection. Moreover, it should be taken into account that the SD efficiency factor calculated above differs from 1. Calculating the parameter  $\delta$ , as it appears from the results in Fig. 1.4.1, can, on the contrary, be an effective method, since SD activation is in most cases preceded by a decrease in  $\delta$  by more than 20–30%, which can be an excellent marker for a fire incident in a protected facility. Detecting a fire by an increase in CO concentration earlier than by using commercially available SD is only possible for synthetic materials (e.g., linoleum). Relying on the experimental results (Fig. 1.4.1), it is safe to say that supplementing a commercially available SD with one of the suggested approaches (real-time monitoring of the relative intensity change  $\delta$  or CO concentration) can contribute to faster and more effective detection of a fire outbreak in a facility.

The conducted experiments made it possible to identify the specific aspects of detecting compartment fires with three most frequent causes: careless handling of fire (open flame), failures in electrical networks and heating equipment. To determine the characteristics of activation of the corresponding sensors in different fire outbreak



and development scenarios, typical combustible materials like paper, cardboard, wood and linoleum were used. An automated recording system with a great number of devices was used. It comprised fire (heat, smoke, flame) detectors, contact and non-contact temperature measurement instruments, a gas analysis system and video recording equipment. In each particular case, the most efficient systems in terms of the fire detection rate and elimination of false alarms are those using a combination of sensors. Several systems have quite significant differences in the activation time. This factor is critical for firefighting system efficiency, since the rates of fire front propagation can be quite fast. Following the research, it was established that supplementing a commercially available SD with one of the suggested approaches (real-time monitoring of the relative intensity change  $\delta$  or CO concentration) can contribute to faster and more effective detection of a fire outbreak in a facility. The results of the conducted experiments substantiate a possibility of optimizing the technologies of compartment fire detection and suppression.

## References

- [1] Festag, S. The Statistical Effectiveness of Fire Protection Measures: Learning from Real Fires in Germany, *Fire Technol.* 57 (2021) 1589–1609. <https://doi.org/10.1007/S10694-020-01073-Y>.
- [2] Himoto, K. Conceptual framework for quantifying fire resilience – A new perspective on fire safety performance of buildings, *Fire Saf. J.* 120 (2021) 103052. <https://doi.org/10.1016/J.FIRESAF.2020.103052>.
- [3] Sheng, D., Deng, J., Zhang, W., Cai, J., Zhao, W., Xiang, J. A Statistical Image Feature-Based Deep Belief Network for Fire Detection, *Complexity*. (2021). <https://doi.org/10.1155/2021/5554316>.
- [4] EMERCOM of Russia, On the state of protection of the population and territory of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2020, Moscow, 2021.
- [5] GOST 12.1.007-76 Occupational safety standards system (SSBT). Harmful substances. Classification and general safety requirements (with Amendments No. 1, 2), GOST dated March 10, 1976 No. 12.1.007-76., 2021.
- [6] SP 12.13130.2009 Definition of categories of premises, buildings and outdoor installations in terms of explosion and fire hazard (with Amendment No. 1), 2021.
- [7] Torero, J.I., Gerhard, M.F., Martins, M.A., Zaroni, B., Rashwan, T.L., Brown, J.K. Processes defining smouldering combustion: Integrated review and synthesis, *Prog. Energy Combust. Sci.* (2020). <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100869>.
- [8] Abdulrahman, S.A., Chetehouna, K., Cablé, A., Skreiberg, Ø., Kadoche, M. A review on fire suppression by fire sprinklers:, <https://doi.org/10.1177/07349041211013698>. (2021) 073490412110136. <https://doi.org/10.1177/07349041211013698>.
- [9] Jiang, Z., Chow, W.K., Tang, J., Li, S.F. Preliminary study on the suppression chemistry of water mists on poly(methyl methacrylate) flames, *Polym. Degrad.*

<https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2004.03.024>.

- [10] Meshman, L.M., Bylinkin, V.A., Gubin, R.Y., Didyaev, A.G., Kazakov, A.V., Romanova, E.Y. Method and system of targeted activation of water mist, RU 2522944 C2. 2014. №16, 2014.
- [11] Elangovan, M., Surya Prakash, D., Hemadri, C., Development of Toxic Gas Monitoring and Alarm System, Lect. Notes Mech. Eng. (2021) 39–48. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6428-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6428-8_3).
- [12] Zhang, Y., Yang, X., Luo, Y., Gao, Y., Liu, H., Li, T. Experimental study of compartment fire development and ejected flame thermal behavior for a large-scale light timber frame construction, Case Stud. Therm. Eng. 27 (2021) 101133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101133>.
- [13] Huang, Y., Zhou, X., Cao, B., Yang, L. Computational fluid dynamics-assisted smoke control system design for solving fire uncertainty in buildings, Indoor Built Environ. 29 (2020) 40–53. <https://doi.org/10.1177/1420326X19842370>.
- [14] Ge, L., Shao, Y., Wang, Y., Zhang, G., Zhang, Z., Liu, L. Experimental research on inerting characteristics of carbon dioxide used for fire extinguishment in a large sealed space, Process Saf. Environ. Prot. 142 (2020) 174–190. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.005>.
- [15] Kinsman, P., Maddison, T.E., Hazard Assessment for Fires in Agrochemical Warehouses: The Role of Combustion Products, Process Saf. Environ. Prot. 79 (2001) 145–156. <https://doi.org/10.1205/09575820150511920>.
- [16] Qiu, X., Xi, T., Sun, D., Zhang, E., Li, C., Peng, Y., Wei, J., Wang, G. Fire Detection Algorithm Combined with Image Processing and Flame Emission Spectroscopy, Fire Technol. 54 (2018) 1249–1263. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0727-x>.
- [17] Le Maoult, Y., Sentenac, T., Orteu, J.J., Arcens, J.P. A new approach based on a low cost CCD camera in the near infrared, Process Saf. Environ. Prot. 85 (2007) 193–206. <https://doi.org/10.1205/psep06035>.
- [18] Foggia, P., Saggese, A., Vento, M. Real-Time Fire Detection for Video-

Surveillance Applications Using a Combination of Experts Based on Color, Shape, and Motion, *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 25 (2015) 1545–1556. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2015.2392531>.

[19] Almanasra, S., Alshahrani, A. Alternative Real-time Image-based Smoke Detection Algorithm, *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst.* 5 (2020) 123–128. <https://doi.org/10.25046/aj050316>.

[20] Baalisampang, T., Saliba, E., Salehi, F., Garaniya, V., Chen, L. Optimisation of smoke extraction system in fire scenarios using CFD modelling, *Process Saf. Environ. Prot.* 149 (2021) 508–517. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2020.11.036>.