



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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматическая система импульсного пожаротушения производственного помещения

УДК 681.5:614.841.41

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Чванов Сергей Вадимович		

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 ШБИП ТПУ	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

ПК(У)-8	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
----------------	---

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 Стрижак П.А.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Чванову Сергею Вадимовичу

Тема работы:

Автоматическая система импульсного пожаротушения производственного помещения

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 41-33/с от 10.02.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

05.06.2023 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом автоматизации является реальное производственное помещение корпуса 421/1: машинный зал экструдеров линии А, относящийся к производству ПЭВД, предприятия ООО «Томскнефтехим», г. Томск. Объектом является нежилое здание. Материал стен – кирпичные, бетонные. Данное помещение относится к категории А по пожарной опасности: повышенная взрывопожароопасность Класс взрывоопасной
---------------------------------	--

	зоны В-Ia. Технологический процесс в данном помещении связан с такими взрывоопасными смесями как этилен и полиэтилен, поэтому корпус 421/1 имеет категорию и группу ПВТ.2 взрывоопасных смесей. Объект включает в себя действующую АСПТ.	
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Научно-исследовательская работа. 2 Проведение анализа объекта автоматизации и действующей на нем АСПТ. 3 Проектирование АСУ импульсным пожаротушением производственного помещения. 4 Разработка конструкторской и схемотехнической документации. 5 Наполнение системы информационным, математическим и программным обеспечением. 6 Разработка мнемосхемы АСУ. 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8 Социальная ответственность.	
Перечень графического материала	1 Схема структурная. 2 Схема функциональная. 4 Схема электрическая соединений щита пожаротушения. 5 Схема монтажная внешних проводов. 6 Общий вид щита управления. 7 Сборочный чертеж щита пожаротушения.	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
	Раздел	Консультант
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
	Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
	Иностранный язык	Гончарова Любовь Анатольевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Экспериментальные исследования (The necessary water discharge density to suppress fires in premises)		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	29.01.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Чванов Сергей Вадимович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 176 с., 26 рис., 32 табл., 88 источников и 2 приложения.

Ключевые слова: пожаротушение, автоматическая система пожаротушения, импульсное пожаротушение, программируемый логический контроллер.

Объектом автоматизации является производственное помещение технического назначения, рассматриваемое на базе корпуса 421/1 предприятия ООО «Томскнефтехим», г. Томск.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления импульсным пожаротушением производственного помещения.

В процессе выполнения работы с использованием разработанного экспериментального стенда и испытательных методик проведен комплекс экспериментов по определению характеристик горения модельных очагов, скоростей движения и размеров генерируемых капель воды, удельных плотностей орошения и расходов распылительных форсунок. Были изучены перспективы использования импульсной системы пожаротушения, а также ее преимущества по сравнению с действующей в рассматриваемом производственном помещении, оснащенной традиционной системой непрерывного пожаротушения.

В результате выполнения магистерской диссертации разработана автоматизированная система управления импульсным пожаротушением производственного помещения на основе микропроцессорных устройств.

Основными преимуществами разработанной системы является ее уникальность среди нынешних функционирующих систем пожаротушения, а также наличие программно-оперативного комплекса на базе SCADA-системы, ведущего к повышению качества управления и быстродействия системы. Данная система является возможным вариантом замены

действующей системы пожаротушения в корпусе 421/1 предприятия ООО «Томскнефтехим».

Обозначения и сокращения:

АПС – автоматическая система пожарной сигнализации;

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСПТ – автоматическая система пожаротушения;

АСУИПТ – автоматизированная система управления импульсным пожаротушением;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ИБП – источник бесперебойного питания;

НТИ – научно-техническое исследование;

ОС – операционная система;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПЭВД – полиэтилен высокого давления;

РГС – резервуар горизонтальный стальной;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

MES (англ. Manufacturing Execution System) – система управления производственными процессами;

SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition) – программно-аппаратный комплекс сбора данных и диспетчерского контроля.

Оглавление

Введение.....	13
1 Научно-исследовательская работа	15
1.1 Цель и задачи исследования	17
1.2 Экспериментальная методика.....	18
1.2.1 Типы, материалы и характеристики очагов	20
1.2.2 Определение характеристик горения очагов	31
1.2.3 Распылительные форсунки	35
1.2.4 Определение скоростей движения и размеров генерируемых капель	36
1.2.5 Определение удельных расходов	38
1.2.6 Определение удельной плотности орошения	39
1.3 Тушение модельных очагов пожара	41
1.4 Выводы.....	46
2 Проектирование АСУ импульсным пожаротушением производственного помещения.....	47
2.1 Системный анализ объекта автоматизации.....	47
2.1.1 Технологические процессы и оборудование	48
2.2 Анализ действующей АСПТ	50
2.2.1 Технические средства в составе АПС.....	51
2.2.1.1 Извещатели пожарные	52
2.2.1.2 Приборы приемно-контрольные	56
2.2.1.3 Шкаф пожаротушения.....	58
2.2.2 Средства пожаротушения	58
2.2.3 Преимущества и недостатки АСПТ	60
2.3 Техническое задание на проектирование системы управления.....	61
2.4 Разработка структурной схемы системы управления	66
2.5 Разработка функциональной схемы системы управления.....	68

2.6 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации.....	70
2.6.1 Выбор датчиков температуры	70
2.6.2 Выбор датчика давления	71
2.6.3 Выбор датчика расхода	72
2.6.4 Выбор датчика уровня.....	73
2.6.5 Выбор исполнительного механизма	74
2.6.6 Выбор пожарных извещателей.....	75
2.6.7 Выбор программируемого логического контроллера.....	77
2.6.8 Выбор оборудования АРМ оператора	79
2.7 Разработка электрической схемы соединений щита пожаротушения ...	80
2.8 Проектирование схемы внешних проводок	82
2.9 Разработка сборочного чертежа и спецификации щита пожаротушения	84
2.10 Наполнение системы информационным, математическим и программным обеспечением.....	84
2.11 Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы.....	88
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	96
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	97
3.2 Анализ конкурентных технических решений	98
3.3 FAST-анализ	100
3.3.1 Выбор объекта FAST-анализа	101
3.3.2 Описание функций объекта	101
3.3.3 Определение значимости выполняемых объектом функций	102
3.3.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования	104
3.3.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	105
3.3.6 Оптимизация функций, выполняемых объектом	106
3.4 Планирование научно-исследовательской работы.....	106

3.4.1	Разработка графика проведения научного исследования.....	107
3.5	Бюджет научно-технического исследования	110
3.5.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	110
3.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование	112
3.5.3	Расчет затрат на амортизацию.....	115
3.5.4	Заработная плата исполнителей	116
3.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	118
3.5.6	Накладные расходы	119
3.5.7	Формирование бюджета научно-исследовательского проекта.....	119
4	Социальная ответственность	124
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	124
4.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	126
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	127
4.2	Производственная безопасность	129
4.3	Анализ выявленных опасных и вредных производственных факторов.....	130
4.3.1	Отклонение показателей микроклимата.....	130
4.3.2	Превышение уровня шума	132
4.3.3	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	133
4.3.4	Поражение электрическим током	134
4.3.5	Тепловое воздействие.....	135
4.3.6	Активное наблюдение за ходом производственного процесса.....	136
4.3.7	Повышенный уровень электромагнитных полей	137
4.3.8	Взрывопожароопасность газа	138
4.4	Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	138
4.5	Экологическая безопасность.....	140
4.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	141
	Выводы по разделу	143
	Заключение	144

Список использованных источников	147
Приложение А The necessary water discharge density to supress fires in premises	157
Приложение Б Листинг программного кода приложения «Тушение_DemoV»	173

Графический материал	на отдельных листах
ФЮРА.421000.022 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.022 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.022 Э4	Схема электрическая соединений щита пожаротушения
ФЮРА.421000.022 С5	Схема монтажная внешних проводок
ФЮРА.421000.022 СБ	Сборочный чертеж щита пожаротушения

Введение

Решение проблемы обнаружения, локализации и тушения возгораний в замкнутых помещениях является одним из важнейших аспектов обеспечения безопасности и сохранения жизни людей. Регулярно человечество сталкивается с недостатками множества существующих АСПТ, которые могут привести к гибели людей, а также нанести существенный экономический ущерб уничтожением имущества. Из этого следует, что безопасность людей в зданиях и сооружениях зависит от эффективности установленных в них противопожарных систем.

В связи с тем, что большинство материалов, используемых для отделки помещений и изготовления мебели, имеют высокие показатели горючести [1, 2], повышение пожарной безопасности зданий осуществляется в рамках двух основных направлений. Первое нацелено на повышение эффективности систем тушения пожара, путем подбора оптимальных показателей дисперсности и плотности потока огнетушащего вещества, а также выбора места установки форсуночных устройств, настройки эффективных диапазонов срабатывания пожарных датчиков, параметров вентиляционных систем [3,4] и др. Второе – пассивные методы, направленные на определение характеристик пожароопасных материалов и снижение их горючести, а также на моделирование пиролиза и горения материала в условиях пожара [5].

В рамках настоящей работы приоритетным является первое направление, ввиду больших возможностей изучения и модернизации, а также наличия непосредственно средств обнаружения и тушения пожаров, которые являются необходимыми устройствами для создания АСПТ.

Целью настоящей работы является разработка автоматизированной системы управления импульсным пожаротушением производственного помещения. При этом к перечню решаемых создаваемой АСУИПТ задач следует отнести следующие:

- повышение эффективности существующих АСПТ и пожарной безопасности в целом;
- обеспечение удобства и быстроты реагирования и управления процессом пожаротушения путем внедрения АРМ оператора с мнемосхемой процесса;
- реализация контроля состояния параметров процесса;
- минимизация затрачиваемых ресурсов на тушение пожара;
- снижение ущерба, наносимого оборудованию в процессе пожаротушения;
- уменьшение экономических затрат на внедрение разрабатываемой АСПТ.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- провести научно-исследовательскую работу для обоснования эффективности работы импульсной АСПТ;
- выполнить анализ объекта автоматизации – производственного помещения, на базе которого будет разработана АСУИПТ;
- разработать комплект проектной, схемной и конструкторской документации;
- осуществить наполнение системы информационным, математическим и программным обеспечением, в т.ч. с применением SCADA-системы;
- оценить экономическую эффективность в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;
- рассмотреть вопросы безопасности в разделе «Социальная ответственность».

В результате выполнения настоящей магистерской диссертации планируется получить объем данных, необходимый и достаточный для замены существующих систем пожаротушения на предлагаемую АСУИПТ.

1 Научно-исследовательская работа

В рамках научно-исследовательской работы, используя лабораторный стенд для моделирования процессов горения и тушения модельных очагов, следует провести ряд экспериментальных исследований по определению характеристик процесса тушения возгораний. Перед этим следует изучить современные работы в данном направлении. При этом стоит ограничить круг выборки экспериментальными исследованиями, содержащими сведения о применяемых экспериментальных установках, методиках, а также процессах, протекающих при пожаротушении путем распыления воды.

К основным характеристикам, учитываемым при оценке показателей эффективности тушения, как правило, относятся [6]: времена тушения, расход жидкости, концентрации выделяемых токсичных газообразных веществ и др. В свою очередь, эффективность распыления воды зависит от размеров и скорости движения капель в составе потока, давления в системе распыления, плотности капельного потока и др. [7]. Основные механизмы тушения возгораний распыленной водой: охлаждение поверхности горящего материала, т.е. отвод тепла; вытеснение кислорода; снижение интенсивности теплового излучения, подавление пиролиза горючих материалов. В [6] отмечено, что импульсное распыление жидкости приводит к периодическому турбулентному перемешиванию, что, в свою очередь, является важным фактором эффективного тушения пожара (происходит смешение кислорода и легковоспламеняющихся паров) [6]. Тонкораспыленная вода приводит к достаточно быстрому осаждению пиролизных газов и их охлаждению (в результате конвективного теплообмена, радиационного поглощения тепла). Капли аэрозоля уносят пиролизные газы, что приводит к изменению распределений температуры в дымовом слое [8].

Процессам тушения водяным туманом различных очагов горения (как жидкостей [6, 9], представляющих собой очаг возгорания класса В, так и твердых материалов, представляющих собой очаг возгорания А класса)

посвящен ряд работ. В рамках данного направления проводятся как экспериментальные, так и теоретические исследования [8, 10, 11]. Можно выделить исследование [12], в котором приведено описание процессов, происходящих при использовании в пожаротушении распыленной воды. В [12] представлены основные характеристики (в частности, оптимальный размер капель, расход) водных потоков (струй, водяного тумана – тонкораспыленной воды) и возможности их применения для пожаротушения очагов пожара класса А (проведена классификация таких очагов, рекомендуемые средства их тушения). Приведены также установленные минимальные значения времен тушения. Обоснована [12] высокая эффективность применения данного метода для тушения возгораний твердых горючих веществ. Экспериментальная оценка характеристик пожаротушения н-гептана с использованием технологии водяного тумана (размер капель около 23 мкм, массовый расход воды около 3.75 г/с) проведена в [13]. Определялись времена тушения, расход воды и температура в лабораторной камере. Исследовалось влияние длительности импульса распыления на данные характеристики. В качестве показателя эффективности тушения разработан Fire suppression performance index (FSPI), представляющий обратное произведение времени тушения пожара и объема воды, расходуемого на тушение. Обосновано [13], что в случае наиболее эффективного тушения показатель FSPI будет максимальным. Установлено, что наибольшее значение показателя FSPI соответствует импульсному циклу, когда система распыления во включенном состоянии находится 1.4 с, а в выключенном – 1 с. Показано, что водяной туман с указанными выше характеристиками подавляет возгорание менее чем за 60 секунд.

Для изучения влияния параметров системы пожаротушения (времен запуска системы, плотности тушащего состава, типов форсуночных устройств, параметров вентиляционной системы и др.) на характеристики тушения деревянных поддонов (сосна) в туннеле проведены экспериментальные исследования [14]. Использовались два форсуночных

устройства с углом раскрытия 90°. Установлено, что существенное влияние на эффективность тушения возгораний оказывает время активации системы и удельная интенсивность орошения очага горения водой. Установлено, что для подавления горения необходима плотность орошения воды, равная 5(10) мм/мин. Сформулировано предположение о том, что увеличение плотности орошения в 2 раза не способствует существенному повышению эффективности системы тушения.

Известны результаты анализа возможности повышения эффективности тушения пожаров в помещениях системами с тонкораспыленной водой. Так, в [15] изучалась возможность применения импульсного распыления жидкости для повышения эффективности системы пожаротушения. Результаты численных исследований показали, что при импульсном впрыске повышается эффективность тушения за счет сокращения расхода жидкости. Интенсивнее происходит разбавление кислорода (воздуха водяными парами), что, в свою очередь, играет важную роль при подавлении горения. Установлены оптимальные временные интервалы между импульсами. Обосновано, что полученные результаты могут быть использованы для настройки параметров распыления систем пожаротушения. Эффективность такой системы может быть повышена за счет снижения расходов воды и времен тушения пожара. В связи с этим целесообразным является экспериментально обоснованный выбор удельной плотности орошения водой горючих материалов, обеспечивающей эффективное подавление возгораний без избыточного расходования ресурсов.

1.1 Цель и задачи исследования

Из обзора литературных источников видно, что к настоящему времени для тушения возгораний в помещениях в качестве наиболее эффективных используются системы тонкого распыления воды, т.е. так называемые технологии «water mist». Такие системы используются как в

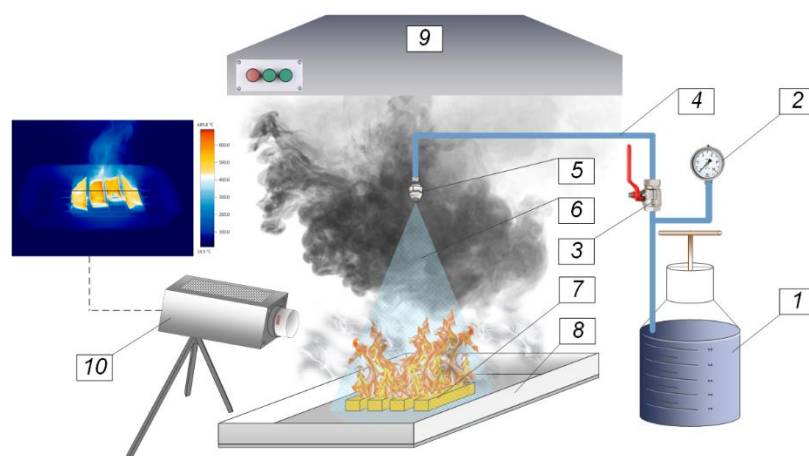
обычных зданиях [16], так и в полезных объемах специализированных сооружений и [17–19] и помещений [20] (туннели, отсеки, суда). Системы тушения пожаров распыленным потоком жидкости имеют низкую стоимость, простоту настройки, обладают высокими показателями эффективности тушения.

При установке в здании системы пожаротушения, принцип которой основан на распылении жидкости, особое внимание уделяется размерам капель, давлению в системе подачи воды и удельным плотностям орошения поверхности, необходимым для быстрого и полного подавления горения горючего материала [19]. Нередко считается, что чем меньше размер капель, тем быстрее они прогреются и испарятся в зоне горения. В таких условиях приоритетнее использовать так называемый мелкодисперсный аэрозоль в виде водяного тумана.

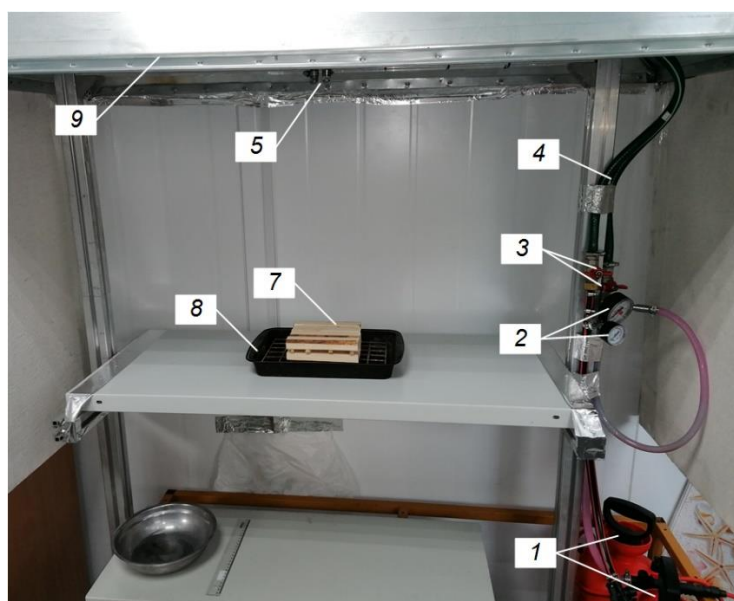
На основании вышесказанного целью настоящей научно-исследовательской работы обозначено экспериментальное определение эффективной плотности орошения водой горящих материалов в помещениях, обеспечивающей снижение их температуры и подавления очагов пожаров, а также комплексный анализ относительных показателей эффективности тушения.

1.2 Экспериментальная методика

Для проведения экспериментальных исследований был разработан стенд, схема и внешний вид которого представлены на рисунке 1.1. Он предназначен для исследования характеристик горения и тушения модельных очагов возгорания класса А.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Схема (а) и внешний вид (б) стенда: 1 – баллоны с водой под давлением; 2 – манометры; 3 – запорные вентили; 4 – шланги для подачи воды; 5 – распылительные форсунки; 6 – аэрозольный поток; 7 – модельный очаг пожара; 8 – основание модельного очага; 9 – вытяжная система; 10 – тепловизор

Стенд (рисунок 1.1) представлял конструкцию, в основании которой на листе металла размещался модельный очаг пожара. На высоте 600 мм относительно основания модельного очага размещались распылительные форсунки, генерирующие поток капель. Высота установки форсунок определялась экспериментально, исходя из условия полного покрытия

аэрозольным потоком всей площади модельного очага. В качестве тушащей жидкости использовалась водопроводная вода, которая заливалась в баллоны объемом 7 л. В баллонах с водой нагнеталось избыточное давление 0,5–2 бар (50–100 кПа), которое измерялось манометрами с погрешностью не более 5 кПа. Вода под давлением подавалась на распылительные форсунки после открытия запорных вентилей по гибким термостойким шлангам. При проведении экспериментов для целей дымоудаления применялась вытяжная система. Для контроля температуры модельного очага в процессе проведения эксперимента использовался тепловизор Testo-885 (спектральный диапазон 7,5–14 мкм; диапазон измеряемых температур –30–1200 °С; погрешность ± 2 °С; диапазон изменения коэффициента излучения 0,01–1; разрешение кадра 640×480 пикс).

1.2.1 Типы, материалы и характеристики очагов

Наиболее пожароопасными объектами являются жилые, офисные (административные) здания, помещения, складские, а также специализированные помещения (например, подводные лодки), так как в них находятся горючие материалы, воспламенение и горение которых может приводить к пожарам класса А (горение твердых веществ) [21]. Строительные и отделочные материалы (например, древесина, ПВХ) зданий тоже, как правило, имеют высокие показатели пожароопасности (быстро начинают гореть, долго тушатся, при этом поддерживается тление и горение с высокими концентрациями дымовых газов) [21]. Наиболее пожароопасными материалами офисных зданий принято считать: древесину и изделия из нее (фанера, ДСП, ДВП, бумага); текстильные материалы (используемые для обивки мебели): хлопок, шерсть, вату, кожу; пластмассы, пластики. В помещениях специализированных объектов зачастую источником возгорания являются пластики, в том числе полимерные композиты. Непосредственно после анализа материалов для формирования модельных очагов пожара класса А целесообразно обоснованно выбрать

габаритные размеры очагов. С этой целью проанализированы известные работы по локализации и тушению очагов пожара [1–20, 22–27]. В таблице 1.1 кратко изложены характеристики модельных очагов пожара [20, 22–27]. Установлено, что, как правило, в экспериментальных исследованиях используются два типа очагов (таблица 1.1): малые размерами: 100×100 мм [27], 120×120 мм [26], 191×279 мм [23]; большие размерами: 500×500 мм [22, 25], 600×600 мм [14], 900×900 мм [24], 960×975 мм [20]. Каждый такой очаг состоит, как правило, из узких реек горючего материала (дерево, пластик и пр.) сечением от 20×20 мм до 40×40 мм, уложенных на некотором расстоянии (10–30 мм) друг от друга от одного до шести слоев [20, 22–27].

В проведенных в настоящем исследовании экспериментах в качестве материалов для изготовления модельных очагов горения использованы: (№1) древесина (сосна); (№2) мебельная ДСП (древесно-стружечная плита); (№3) ДВП (древесноволокнистая плита); (№4) линолеум гладкий; (№5) линолеум на тканевой подложке; (№6) ПВХ (пластиковые панели); (№7) ламелевые жалюзи; (№8) пенополистирол (пенопласт). Выбор данных материалов обусловлен их распространенностью (использованием в качестве строительных и отделочных материалов в зданиях и сооружениях; высокой горючестью и высокими концентрациями выделяемых при горении газообразных веществ [28–30]. В таблице 1.2 приведены температуры пиролиза использовавшихся в экспериментах материалов.

По результатам анализа по аналогии с [23, 26, 27] сконструированы очаги размерами 150×150 мм (площадью около 0,0225 м²). Очаги изготавливались из образцов вышеописанных материалов шириной 30 мм и длиной 150 мм. Расстояние между образцами составило 10 мм (такой зазор необходим для движения воздуха и лучшего теплообмена горючего материала). Толщина образцов составила: (№1) древесина (сосна) – 20 мм; (№2) мебельная ДСП (древесно-стружечная плита) – 15 мм; (№3) ДВП (древесноволокнистая плита) – 3 мм; (№4) линолеум гладкий – 3 мм; (№5) линолеум на тканевой подложке – 4 мм; (№6) ПВХ (пластиковые панели) –

6 мм; (№7) ламелевые жалюзи – 0,2 мм; (№8) пенополистирол (пенопласт) – 30 мм.


На начальном этапе изготавливались два типа очагов, в которых материалы укладывались как в один, так и в два слоя. Такое решение обусловлено необходимостью установления характеристик горения модельных очагов. При этом в двухслойном очаге второй слой укладывался перпендикулярно первому. Для обеспечения доступа воздуха к нижней части модельного очага между самим очагом и его металлическим основанием (рисунок 1.1) устанавливалась стальная сетка, на которой и размещался очаг. Внешний вид модельных очагов, сконструированных в один и два слоя, приведен на рисунке 1.2.

Таблица 1.1 – Характеристики очагов пожара

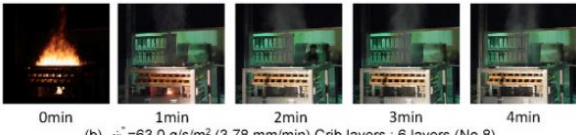
Материал	Характеристики водяного тумана	Характеристики очага	Источник														
ПВХ	<p>Угол конуса сопла составлял 90°, средний диаметр каплеь – около 90 мкм</p> <table border="1"> <tr> <td>Давление (МПа)</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>Объемный поток (мл / мин)</td> <td>68</td> <td>88</td> <td>103,5</td> <td>112</td> <td>125</td> <td>134</td> </tr> </table>	Давление (МПа)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	Объемный поток (мл / мин)	68	88	103,5	112	125	134	<p>Толщина ПВХ 6–50 мм, вес – около 41 г.</p> <p>Размер образца 100 мм × 100 мм</p>	[27]
Давление (МПа)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7											
Объемный поток (мл / мин)	68	88	103,5	112	125	134											
Древесные плиты	<p>Две форсунки, установленные на расстоянии 61 см от поверхности материала.</p> <p>Давление нагнетания – 1 атм. Средний диаметр каплеь 0,15 мм.</p> <p>Максимальная интенсивность распыления воды 0,19–0,24 мг/(см²·с)</p>	<p>Размер очага 191 мм × 279 мм</p> <p>Толщина древесной плиты 64 мм, 12,7 мм, 19,1 мм.</p>	[23]														
Древесина	<p>Расход, используемый для тушения возгорания ящичков – 1,4±0,15 л/мин.</p>	<p>Каркас ярусов для сжигания состоял из 14 уложенных друг на друга слоев шести параллельных сосновых прутьев с лицевой стороной 39 мм × 39 мм.</p> <p>Каждая сосновая палочка в каждом слое имела длину 500 мм и ориентирована перпендикулярно палкам соседнего слоя.</p> <p>Соседние палочки разделены промежутками 60 мм.</p>	[25]														

		Получившийся модельный очаг представлял собой квадрат с площадью основания 500 мм × 500 мм и высотой 560 мм.																																																													
Древесный очаг	<p>Плотность орошения: 15,8, 31,5, 47,3, 63,0, 94,5 и 126 г/(м²·с) (0,95, 1,89, 2,84, 3,78, 5,67 и 7,56 мм/мин).</p> <p>Здесь плотность 63,0 г/(м²·с) соответствует скорости подачи 80 л/мин на площадь радиусом 2,6 м.</p> <p>Таблица 1. Сводка <u>измерений</u> плотности подаваемой воды (<u>единицы</u> : г / с / м² , мм / мин).</p> <table border="1" data-bbox="510 798 1332 1117"> <tr> <td rowspan="2">Значение настройки</td> <td>[г / с / м²]</td> <td>15,8</td> <td>31,5</td> <td>47,3</td> <td>63</td> <td>78,8</td> <td>94,5</td> <td>126</td> </tr> <tr> <td>[мм / мин]</td> <td>0,95</td> <td>1,89</td> <td>2,84</td> <td>3,78</td> <td>4,73</td> <td>5,67</td> <td>7,56</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Измеренное среднее значение</td> <td>[г / с / м²]</td> <td>18,9</td> <td>33,4</td> <td>48,7</td> <td>64,7</td> <td>77,2</td> <td>92,1</td> <td>121,9</td> </tr> <tr> <td>[мм / мин]</td> <td>1,13</td> <td>2,00</td> <td>2,92</td> <td>3,88</td> <td>4,63</td> <td>5,53</td> <td>7,31</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Измеренное стандартное отклонение</td> <td>[г / с / м²]</td> <td>6,7</td> <td>6,9</td> <td>9,8</td> <td>11,5</td> <td>15</td> <td>18,2</td> <td>21,6</td> </tr> <tr> <td>[мм / мин]</td> <td>0,40</td> <td>0,41</td> <td>0,59</td> <td>0,69</td> <td>0,90</td> <td>1,09</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Среднее значение скорости воды [м / с]</td> <td></td> <td>0,15</td> <td>0,27</td> <td>0,39</td> <td>0,52</td> <td>0,63</td> <td>0,75</td> <td>0,99</td> </tr> </table>	Значение настройки	[г / с / м ²]	15,8	31,5	47,3	63	78,8	94,5	126	[мм / мин]	0,95	1,89	2,84	3,78	4,73	5,67	7,56	Измеренное среднее значение	[г / с / м ²]	18,9	33,4	48,7	64,7	77,2	92,1	121,9	[мм / мин]	1,13	2,00	2,92	3,88	4,63	5,53	7,31	Измеренное стандартное отклонение	[г / с / м ²]	6,7	6,9	9,8	11,5	15	18,2	21,6	[мм / мин]	0,40	0,41	0,59	0,69	0,90	1,09	1,30	Среднее значение скорости воды [м / с]		0,15	0,27	0,39	0,52	0,63	0,75	0,99	<p>В качестве источника огня использовались деревянные очаги из японского кедра, состоящие из шести, девяти или двенадцати слоев.</p> <p>Размер деревянных палочек (ширина: 30 мм, длина: 900 мм, высота: 40мм)</p>	[24]
Значение настройки	[г / с / м ²]		15,8	31,5	47,3	63	78,8	94,5	126																																																						
	[мм / мин]	0,95	1,89	2,84	3,78	4,73	5,67	7,56																																																							
Измеренное среднее значение	[г / с / м ²]	18,9	33,4	48,7	64,7	77,2	92,1	121,9																																																							
	[мм / мин]	1,13	2,00	2,92	3,88	4,63	5,53	7,31																																																							
Измеренное стандартное отклонение	[г / с / м ²]	6,7	6,9	9,8	11,5	15	18,2	21,6																																																							
	[мм / мин]	0,40	0,41	0,59	0,69	0,90	1,09	1,30																																																							
Среднее значение скорости воды [м / с]		0,15	0,27	0,39	0,52	0,63	0,75	0,99																																																							


	Нет.	Горизонтальная	Высота	Масса	Плотность	Плотность	Время
	Слой	площадь				подаваемой	активации
	[слой]	проекта А д [м ²]	[мм]	[кг]	[кг / м ³]	воды [г / с / м ²] [(мм / мин)]	полива ^а
	1	6	0,81	240	24,9	398	0,00 (0,00) -
	2				24,0	383	15,75 (0,95) Пик HRR
	3				23,7	378	31,50 (1,89) Пик HRR
	4				23,2	370	31,50 (1,89) Пик ЧСС 1/3
	5				23,2	371	31,50 (1,89) Пик HRR 1/2
	5				24,2	386	31,50 (1,89) Пик HRR 2/3
	7				24,5	391	47,25 (2,84) Пик HRR
	3				21,9	350	63,00 (3,78) Пик HRR



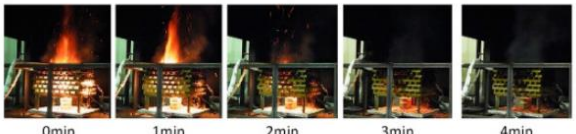
(a) $w'' = 31.5 \text{ g/s/m}^2$ (1.89 mm/min) Crib layers : 6 layers (No.3)



(b) $w'' = 63.0 \text{ g/s/m}^2$ (3.78 mm/min) Crib layers : 6 layers (No.8)



(c) $w'' = 63.0 \text{ g/s/m}^2$ (3.78 mm/min) Crib layers : 12 layers (No.18)



(d) $w'' = 126 \text{ g/s/m}^2$ (7.56 mm/min) Crib layers : 12 layers (No.23)

Древесина	<p>Распыление водяного тумана может эффективно потушить пожар менее чем за 5 минут при максимальном давлении в системе 7 бар.</p> <p>При более высоком давлении воды водяной туман может покрывать большую поверхность топлива и выполнять охлаждающее действие, предотвращая реакцию паров топлива с кислородом.</p> <p>Расход воды, рассчитанный для водяного тумана (NFPA 750) для каждого давления в системе 3,5 и 7 бар, составил 0,15, 0,19 и 0,23 л/(м³·мин), соответственно.</p> <p>Система водяного тумана требует гораздо меньшего расхода воды, чем спринклерная (NFPA 13)</p>	<p>Древесный очаг размером 12 см × 12 см × 27 см.</p> <p>Сопло водяного тумана размещалось на высоте 2,5 м над полом.</p>	[26]
-----------	--	---	------

(0,79 л/(м³·мин))

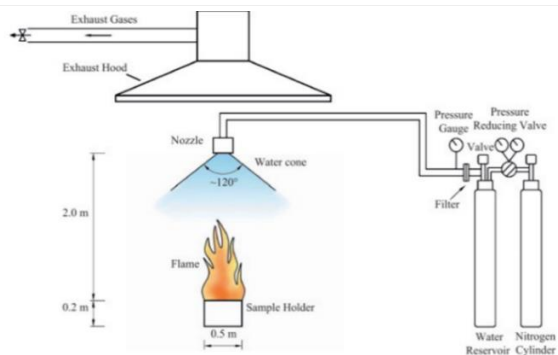
Полиметилметакрилат

Форсунка располагалась на высоте 2,0 м над поверхностью образца.
Давление от 0,2 МПа до 0,8 МПа.

Средний объемный диаметр каплей составлял около 200 мкм в центральной части распыления и 300 мкм по краям.

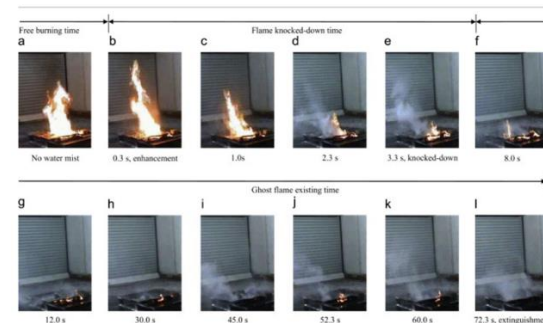
Интенсивность распыления – от 1 до 5 л/(м²·мин).

Рабочее давление (МПа)	Время подавления пламени t_{fk} (с)	Время существования призрачного пламени t_{gf} (с)	Общее время тушения t_{fe} (с)
0,2	3,3	69,0	72,3
0,4	2,9	29,0	31,9
0,6	0,8	24,6	25,4
0,8	2,2	5,0	7,2



Расход водяного тумана составлял от 1 до 4 л/(м²·мин),

Образец ПММА размером 500 мм на 500 мм и толщиной 10 мм помещался горизонтально на высоте 20 см от пола.
Масса образца: 2,96 кг.



[22]

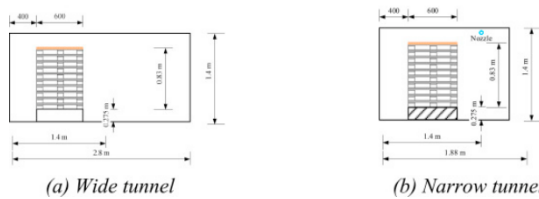

	то есть от 17 до 67 г/(м ² ·с).		
<p>Деревянные поддоны</p>	<p>Средний размер капель – 0,4–1,5 мм</p> <p>Интенсивность орошения: 5–7,5 мм/мин</p> <p>Плотность воды 2,5 (5) мм/мин не подавляла пожар. При скорости 5 (10) мм/мин возгорание подавлялось сразу после активации системы.</p> <p>Предполагается, что увеличение плотности воды до большего значения, например 10 (20) мм/мин не приведет к значительному улучшению характеристик системы пожаротушения, поскольку 5 (10) мм/мин уже эффективно подавляет горение</p>	 <p>(a) Wide tunnel</p> <p>(b) Narrow tunnel</p> <p>Скачать: Скачать изображение в высоком разрешении (160 КБ) Скачать: Скачать полноразмерное изображение</p> <p>Рис. 2. Расположение топлива.</p> <p>Размер очага 600 × 600 × 830 мм</p>	[14]
<p>Смешанный очаг (полистирол, картон)</p> 	<p>Система должна быть рассчитана на плотность расхода воды не менее 3,5 мм/мин для настилов с максимальной высотой 2,5 м и не менее 5 мм/мин для более высоких очагов.</p>	<p>Использовался товар EUR Std Plastic (пустые стаканы из полистирола в картонных коробках с отсеками, по 120 чашек в картонной коробке)</p> <p>Источник воспламенения состоял из куба 60 мм × 960 мм × 975 мм</p>	[20]

Таблица 1.2 – Температуры пиролиза используемых материалов

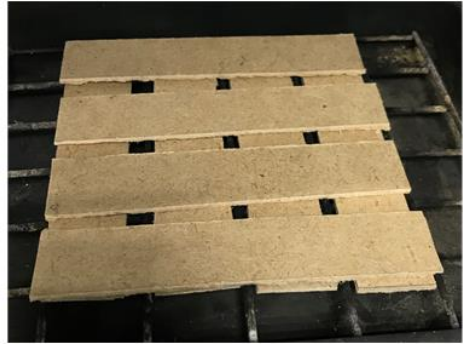
№	Наименование	Температура пиролиза (особенности термического разложения)
№1	Древесина (сосна)	1 стадия - от 155 до 280 °С (углекислый газ, окись углерода, уксусная кислота) 2 стадия – от 280-455 °С (СО ₂ , СО, СН ₄ , эфиры и т.д.)
№2	Мебельная ДСП	
№3	ДВП	
№4	Линолеум гладкий	При температуре выше 350-450 °С (появление алифатических и ароматических предельных и непредельных углеводородов) При нагреве до 600 °С около 95% полимера превращается в НС ₁ , СО, СО ₂ и около 5% – алифатические и ароматические углеводороды
№5	Линолеум на тканевой подложке	
№6	Панель из ПВХ	Начало разложения при температуре около 250 °С (образование ароматических соединений (толуол, бензол, стирол и т.д.) 500 – 800 °С (образование широкого спектра углеводородов без выделения особо опасных и токсичных веществ)
№7	Ламелевые жалюзи	
№8	Пенополистирол (пенопласт)	Разложение начинается при нагревании без источника открытого пламени при 300 °С, при открытом пламени – 210 °С (выделение стирола)



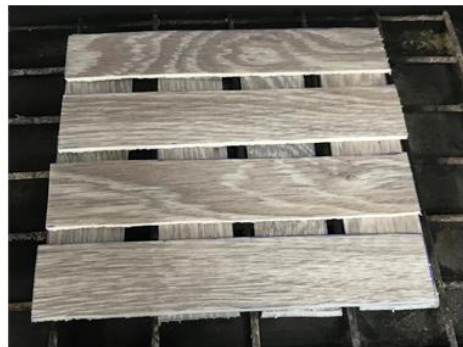
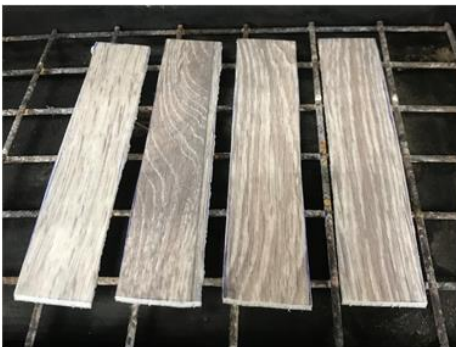
а)



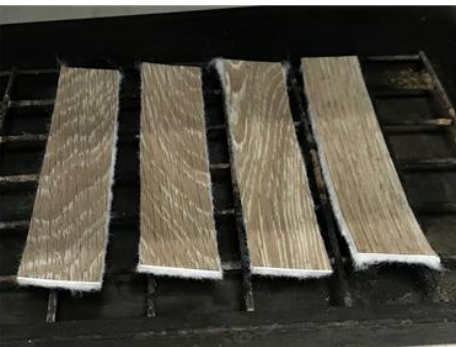
б)



в)



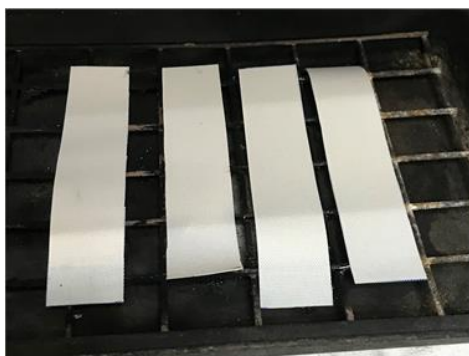
г)



д)



е)



ж)



з)

Рисунок 1.2 – Внешний вид модельных очагов, сформулированных в один (слева) и два (справа) слоя: а – древесина (сосна); б – мебельная ДСП (древесно-стружечная плита); в – ДВП (древесноволокнистая плита); г – линолеум гладкий; д – линолеум на тканевой подложке; е – ПВХ (пластиковые панели); ж – ламелевые жалюзи; з – пенополистирол (пенопласт)

В таблице 1.3 приведены суммарные площади поверхности и масса материалов, использованных в экспериментах для изготовления модельных очагов пожара. Масса модельных очагов (m_f) определялась с использованием лабораторных микровесов Vibra HT 84RCE: взвешивался каждый образец, использовавшийся при изготовлении конкретного модельного очага, после чего определялась суммарная масса. Суммарная площадь поверхности (S_f) модельного очага находилась как сумма площадей боковых поверхностей всех образцов материала, входящих в состав модельного очага.

Таблица 1.3 – Суммарные площади поверхности и масса материалов, использовавшихся в экспериментах для изготовления модельных очагов пожара

№	Наименование	Однослойный		Двухслойный	
		S_f (м ²)	m_f (кг)	S_f (м ²)	m_f (кг)
№1	Древесина (сосна)	0,0648	0,188	0,1296	0,376
№2	Мебельная ДСП	0,0576	0,206	0,1152	0,412
№3	ДВП	0,0403	0,038	0,0806	0,076
№4	Линолеум гладкий	0,0403	0,034	0,0806	0,068
№5	Линолеум на тканевой подложке	0,0418	0,043	0,0835	0,086
№6	Панель из ПВХ	0,0446	0,033	0,0893	0,066
№7	Ламелевые жалюзи	0,0363	0,005	0,0726	0,010
№8	Пенополистирол (пенопласт)	0,0792	0,006	0,1584	0,012

1.2.2 Определение характеристик горения очагов

Проведены эксперименты с целью определения характеристик горения модельных очагов пожара класса А. Для каждого типа очага (рисунок 1.2) выполнялись не менее трех экспериментов для обеспечения возможности усреднения результатов измерений и исключения грубых ошибок. Зажигание модельных очагов осуществлялось газовой горелкой

равномерно по всей площади очага. Регистрировались максимальные и минимальные температуры пламени модельных очагов, а также определялись временные характеристики процесса (рисунок 1.3): время воздействия на модельный очаг газовой горелки (t_b); время выхода на стационарный режим (t_m) – временной промежуток от момента окончания воздействия на модельный очаг газовой горелки до момента достижения максимальных температур модельного очага; время прекращения пламенного горения (t_f) – временной промежуток от момента достижения максимальных температур модельного очага до момента окончания пламенного горения; время прекращения тления (t_d) – временной промежуток от момента достижения максимальных температур модельного очага до момента окончания тления (соответствует температурам ниже термического разложения).

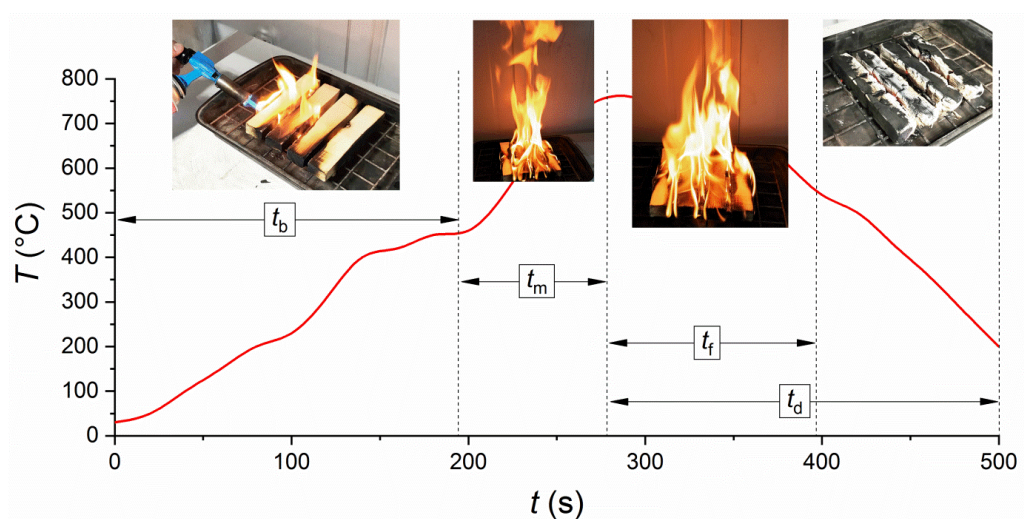


Рисунок 1.3 – Схема определения временных характеристик модельных очагов пожара

На рисунке 1.4 приведены осредненные значения (по результатам серии экспериментов) временных характеристик двухслойных модельных очагов пожара (таблица 1.2). Следует отметить, что на рисунке 4 отсутствуют данные модельного очага (№8). Данный факт связан с особенностями

процесса термического разложения пенополистирола. Так, для данного очага характерно термическое разложение лишь в процессе воздействия на него газовой горелкой. Пламенное горение пенополистирола отсутствовало. После завершения воздействия газовой горелки термическое разложение не регистрировалось. По этой причине очаги данного типа в дальнейшем не применялись. Очевидно, что целесообразно такой материал использовать в экспериментах по регистрации дымовыделения, либо состава дымовых газов.

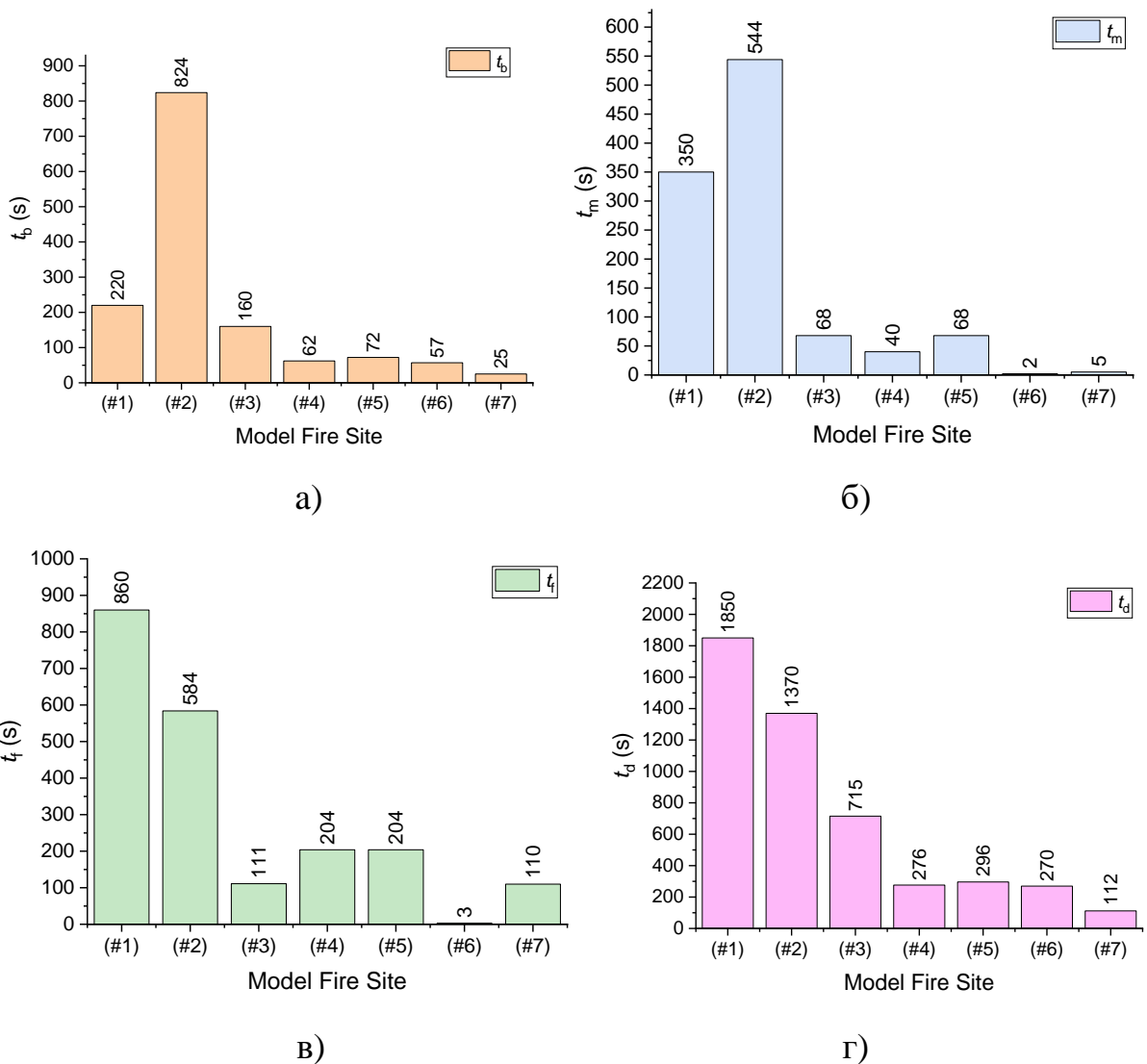
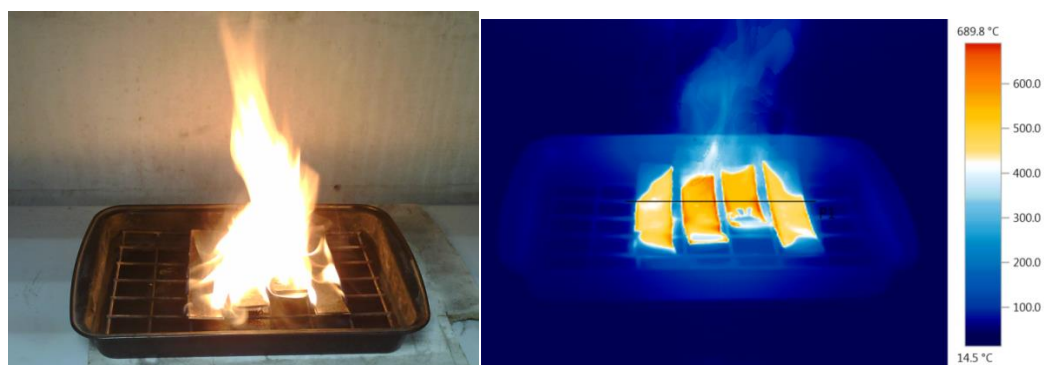


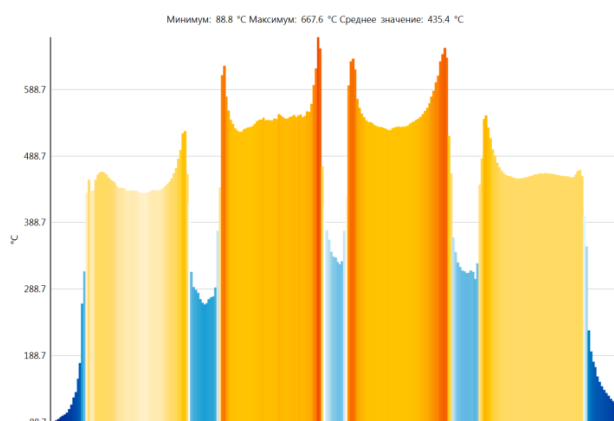
Рисунок 1.4 – Гистограмма средних значений временных характеристик двухслойных модельных очагов пожара: а – время розжига (t_b); б – время разгорания (t_m); в – время прекращения пламенного горения (t_f); г – время прекращения тления (t_d)

На рисунке 1.5 приведен типичный пример полученных в процессе тепловизионной регистрации кадров.



а)

б)



в)

Рисунок 1.5 – Данные для очага, состоящего из гладкого линолеума, полученные посредством тепловизионной съемки (а – изображение очага; б – тепловизионный кадр очага; в – распределение температуры в горизонтальном сечении очага)

Зарегистрированные особенности в проведенных экспериментах заключались в следующем:

– значения времени розжига (t_b) от максимума до минимума соответствовали следующей последовательности материалов: ДСП (№2), древесина (№1), ДВП (№3), линолеумы (№4, №5), ПВХ панели (№6). Наиболее быстро разгорались ламелевые жалюзи (№7);

– зарегистрированные времена пламенного горения и тления материалов хорошо коррелировали между собой. При этом максимальные значения t_f и t_d соответствовали древесине (№1), а минимальные – ПВХ панелям (№6);

– длительность пламенного горения панелей ПВХ (№6) и ламелевых жалюзей (№7) не превышала 12 с;

– модельные очаги из дерева (№1), ДСП (№2) и линолеумов (№4, №5) в процессе горения сохраняли свою форму. Модельные очаги из ДВП (№3) и ПВХ панелей (№6) при горении меняли форму – отдельные элементы, из которых состоят очаги, трансформировались и скручивались. Модельные очаги из ламелевых жалюзей (№7) плавилась и стекали к основанию модельного очага. Расплавленный материал после непродолжительного пламенного горения продолжал тлеть.

Результаты экспериментов показали, что принципиальные отличия характеристик горения однослойных и двухслойных очагов отсутствуют. Существенное отличие состоит лишь в том, что значения временных характеристик двухслойных очагов выше по сравнению с однослойными. По этой причине в дальнейших экспериментах использованы однослойные модельные очаги пожара.

1.2.3 Распылительные форсунки

Для подачи воды в модельный очаг использовались распылительные форсунки ФМТ-60 и ФМТ-100, внешний вид которых представлен на рисунке 1.6. Параметры распыления форсунок (скорости движения и размеры капель, объемный расход, удельная плотность орошения) зависят, главным образом, от давления в системе распыления. По этой причине в п. 1.2.1–1.2.3 описаны эксперименты по определению характеристик распыления данных форсунок.



Рисунок 1.6 – Внешний вид распылительных форсунок ФМТ-60 и ФМТ-100

1.2.4 Определение скоростей движения и размеров генерируемых капель

На начальной стадии экспериментов регистрировались скорости движения и средние размеры капель в аэрозольном потоке. При регистрации параметров аэрозоля использовались методы Shadow Photography (SP) [31, 32] и Particle Image Velocimetry (PIV) [32–34]. Схемы регистрации с применением данных методов приведены на рисунке 1.7. Для определения скоростей движения и размеров капель аэрозоля использовался оптический комплекс [31–34], включающий в себя импульсный Nd:YAG лазер Quantel EverGreen 200 (максимальная мощность в импульсе 200 мДж, частота повторений 15 Гц, длина волны 532 нм) и кросскорреляционную CCD видеокамеру ImperX IGV B2020M (разрешение 2048×2048 пикс, разрядность 8–16 бит). При регистрации скоростей движения капель методом PIV (по аналогии с [31, 33, 34]) поток капель рассекался плоским лазерным ножом. Для формирования лазерного ножа использовался коллиматор (на базе цилиндрических линз) с углом раскрытия 22°. Ширина и толщина ножа в измерительной области составляли, в среднем, 300 мм и 0,2 мм.

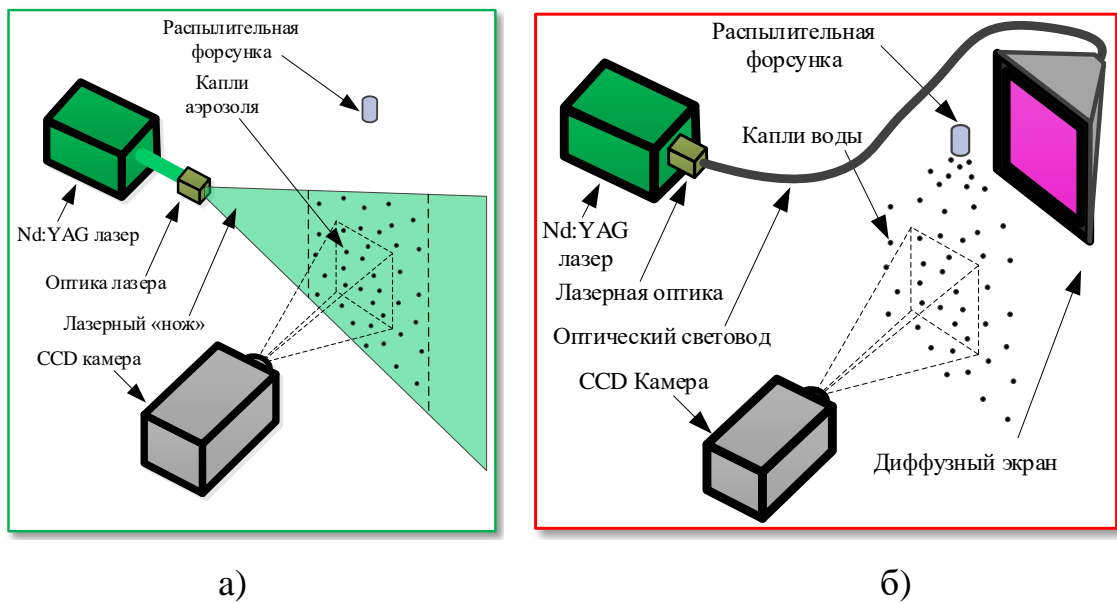


Рисунок 1.7 – Схемы установок для реализации методов PIV (а) и SP (б)

Видеокадры обрабатывались при помощи программного обеспечения ActualFlow. Погрешности определения скоростей движения капель не превышали 2%. По результатам экспериментов установлено, что средние значения скоростей движения капель в регистрационной области составили 3–4 м/с. Результатом обработки служило двухкомпонентное среднее поле скорости потока капель (рисунок 1.8).

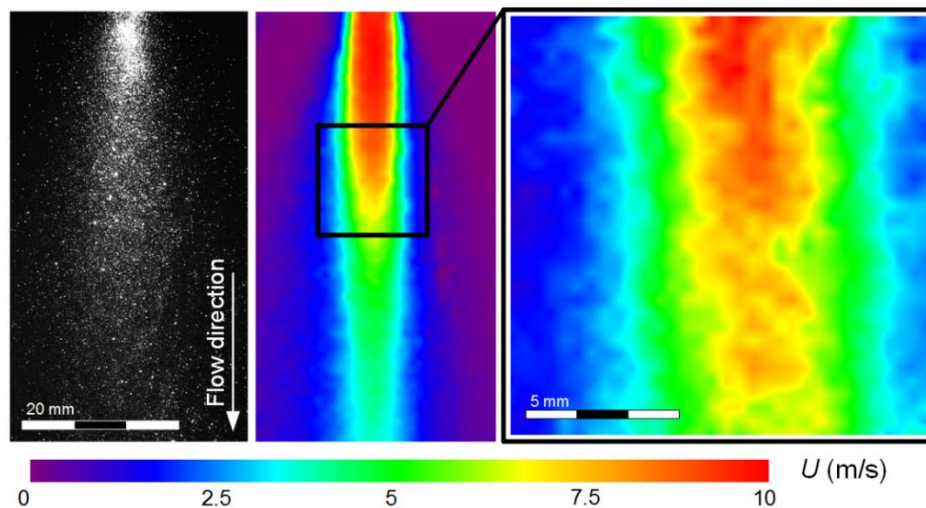


Рисунок 1.8 – Видеogramма потока капель и осредненное двухкомпонентное поле скорости потока, полученное методом PIV (на выходе распылительной форсунки)

1.2.5 Определение удельных расходов

Для установления удельных расходов распылительных форсунок выполнялись действия, приведенные в [35].

Для каждого начального давления в системе и каждой распылительной форсунки выполнялись не менее трех экспериментов. После этого определялось среднее значение объемного расхода. На рисунке 1.9 приведены зависимости среднего значения объемного расхода воды от начального давления в системе.

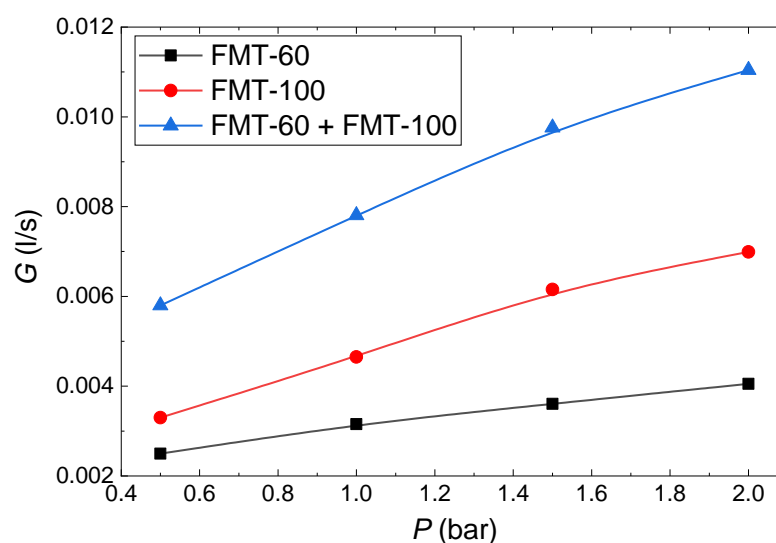


Рисунок 1.9 – Зависимости среднего значения объемного расхода воды от начального давления в системе распыления

На рисунке 1.9 показано, что с ростом давления в системе распыления воды в диапазоне $P = 0,5-2$ бар массовый расход воды через форсунки практически линейно возрастает в 1,6 раза для ФМТ-60 (максимальное значение около 0,004 л/с) и в 2,1 раза для ФМТ-100 (максимальное значение около 0,007 л/с). При этом для увеличения объемного расхода воды в системе (до 0,011 л/с) можно использовать комбинацию из одновременно работающих форсунок ФМТ-60 и ФМТ-100 (рисунок 1.9).

1.2.6 Определение удельной плотности орошения

При определении удельной плотности (интенсивности) орошения (I) использовалась методика [36, 37], согласно которой искомый параметр находился путем определения объема жидкости, попавшего на единицу площади поверхности (поперечное сечение мерной емкости) за фиксированный временной интервал. Внешний вид и схема экспериментального стенда приведены на рисунке 1.10. Внешний вид мерных емкостей, а также схема их расположения представлены на рисунке 1.11.

Подробная последовательность проведения данных экспериментов приведена в [35].

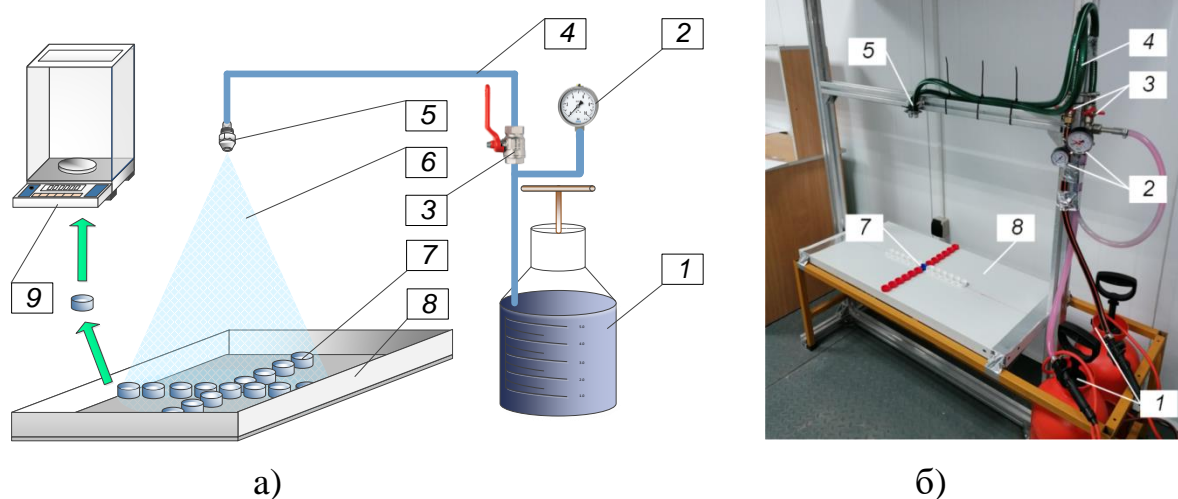


Рисунок 1.10 – Схема (а) и внешний вид (б) экспериментального стенда при определении удельной плотности орошения распылительных форсунок:
1 – баллоны с водой под давлением; 2 – манометры; 3 – запорные вентили;
4 – шланги для подачи воды; 5 – распылительные форсунки; 6 – аэрозольный поток; 7 – мерные емкости; 8 – основание; 9 – лабораторные микровесы

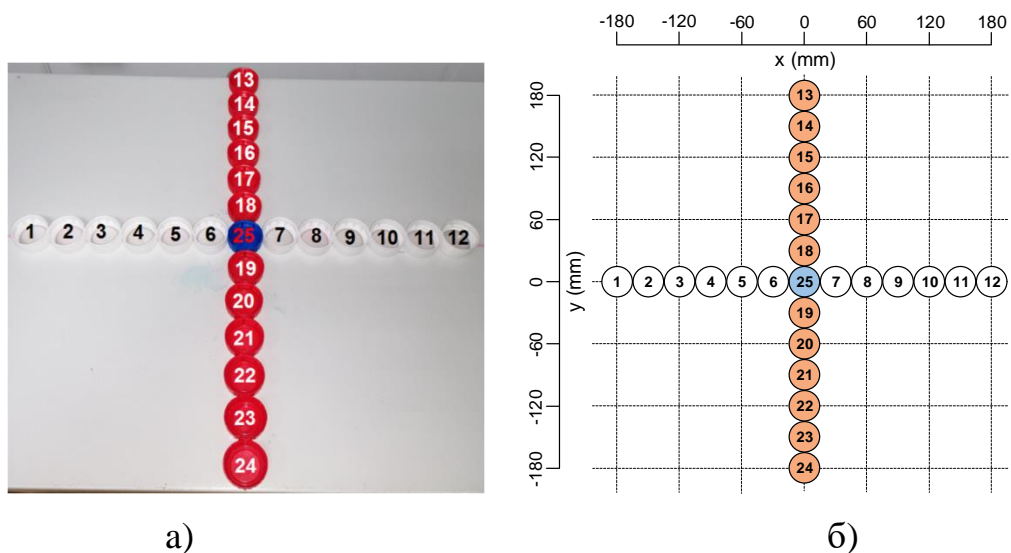


Рисунок 1.11 – Внешний вид (а) и схема расположения (б) мерных емкостей под распылительной форсункой (цифрами указаны номера мерных емкостей)

Из проведенных экспериментов по определению удельных плотностей орошения было выявлено, что для форсунки ФМТ-100 при давлении воды в системе более 1,5 бар средние значения удельной плотности орошения в радиальном направлении изменялись в узком диапазоне. Таким образом, в последующих экспериментах по тушению модельных очагов пожара для рассмотрения всех возможных случаев распределения плотности орошения принято решение использовать: форсунку ФМТ-60 при давлении 1,5 бар (для обеспечения переменной по площади очага плотности орошения); форсунку ФМТ-100 при давлении 1,5 бар (для обеспечения постоянной по площади очага плотности орошения). По результатам экспериментов при каждом давлении рассчитаны осредненные значения удельной плотности орошения распылительных форсунок. Расчеты выполнены для диапазона $r=0-90$ мм, который соответствует размерам задействованных в экспериментах модельных очагов пожара. Результаты вычислений представлены на рисунке 1.12.

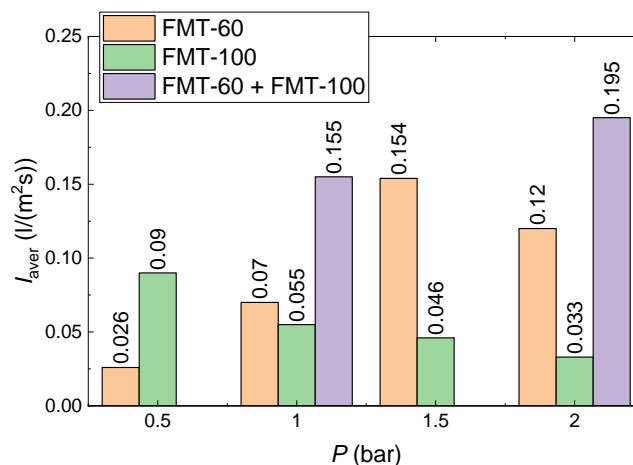


Рисунок 1.12 – Осредненные значения удельной плотности орошения распылительных форсунок (на удалении около 600 мм от распылительных форсунок) при различном давлении в системе распыления воды

1.3 Тушение модельных очагов пожара

Для тушения возгораний перечисленных выше веществ в помещениях в большинстве случаев используются системы пожаротушения на основе воды. В связи с этим в качестве исследуемой огнетушащей жидкости выбрана вода. При нагреве вода поглощает большое количество теплоты. При ее испарении образуется большой объем пара, который затрудняет доступ воздуха к очагу горения. При тушении водой (в отличие от тушения специализированными составами) в помещении быстро осаждается дым, не портятся не горящие материалы, на которые также попадает жидкость [38].

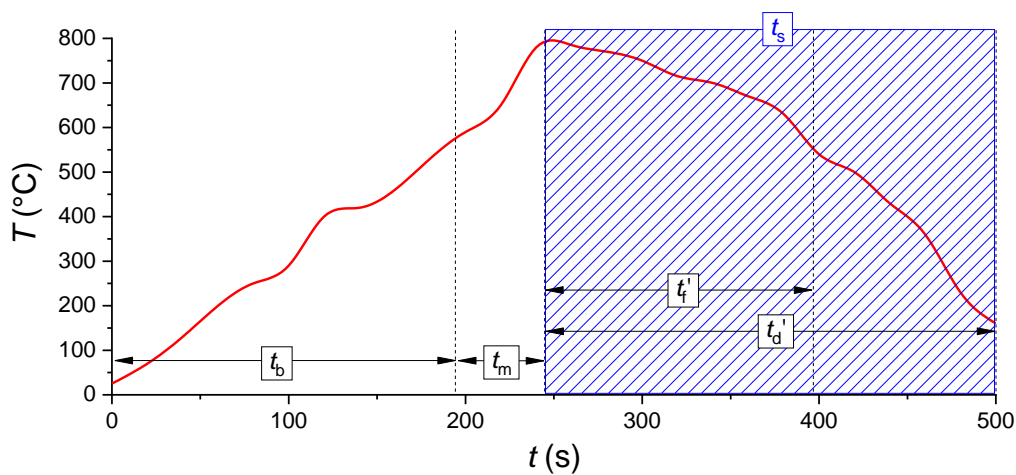
Эксперименты выполнялись с использованием стенда, представленного на рисунке 1.1. Проводились два типа экспериментов, отличающиеся технологией подачи воду на модельный очаг пожара:

1 Непрерывное распыление. Распыление воды начиналось в момент достижения максимальных температур модельного очага и продолжалось до момента окончания тления (снижение температуры модельного очага ниже температуры термического разложения).

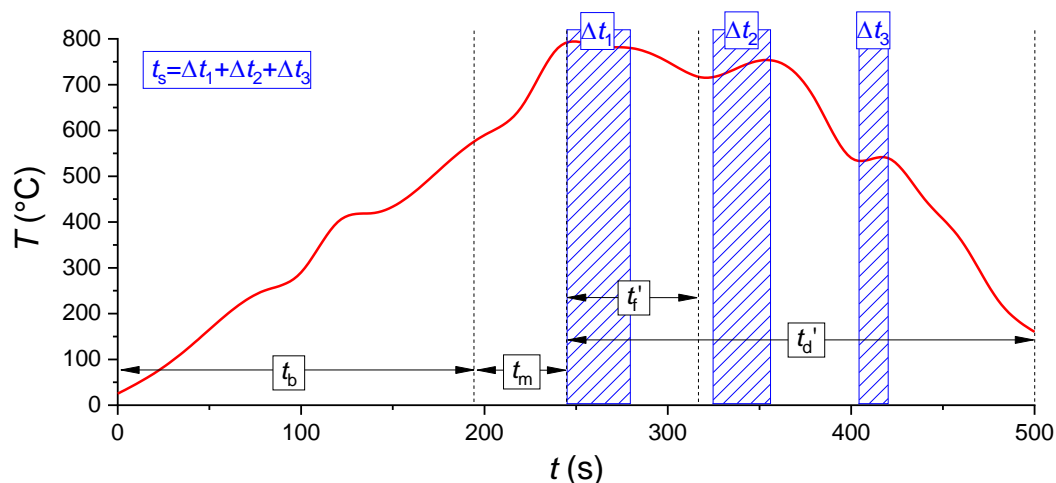
2 Импульсное распыление. Распыление воды начиналось в момент достижения максимальных температур модельного очага и продолжалось до

момента начала снижения температуры модельного очага. В случае начала роста температур модельного очага подавался следующий импульс, продолжающийся до момента начала снижения температуры модельного очага. Описанные действия повторялись до момента окончания тления (снижение температуры модельного очага ниже температуры термического разложения).

Проведены эксперименты по тушению модельных очагов пожара класса А форсунками. Для каждого типа модельного очага (рисунок 1.2) выполнялось не менее трех экспериментов. Определялись следующие временные характеристики тушения (рисунок 1.13): время прекращения пламенного горения (t_f) – временной промежуток от момента начала тушения (достижения максимальных температур модельного очага) до момента окончания пламенного горения; время прекращения тления (t_d) – временной промежуток от момента начала тушения (достижения максимальных температур модельного очага) до момента окончания тления (соответствует температурам ниже термического разложения); время распыления (t_s) – временной промежуток от момента начала тушения до момента окончания тления (в случае непрерывного распыления) либо суммарное время продолжительности всех импульсов (в случае импульсного распыления).



a)

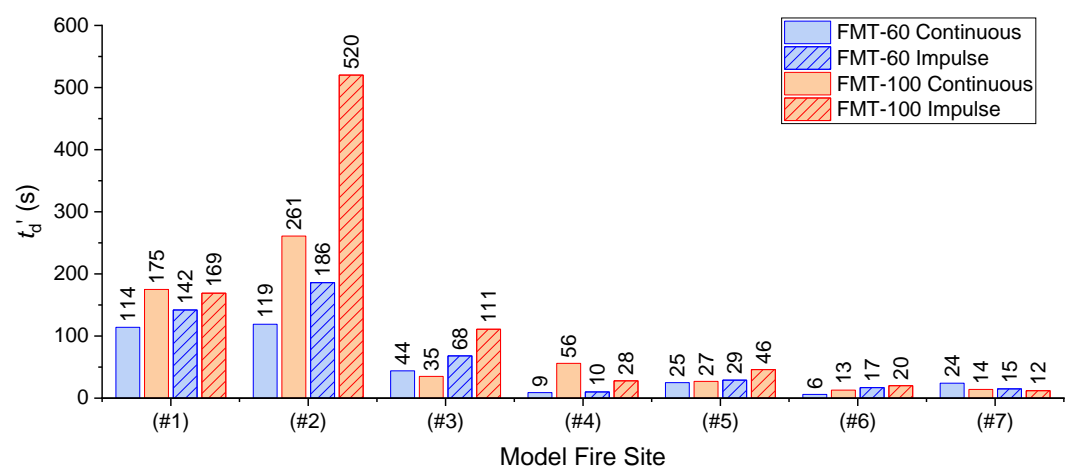


б)

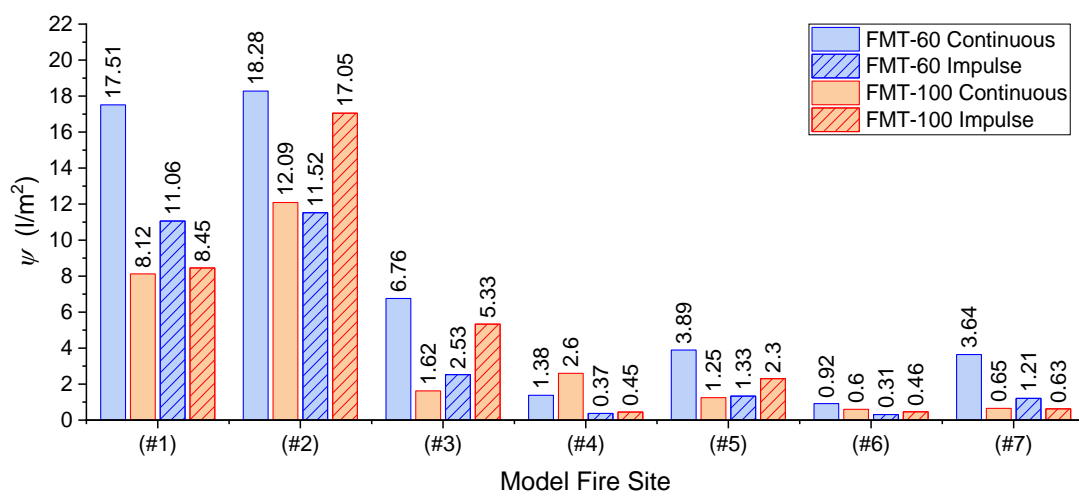
Рисунок 1.13 – Схема определения временных характеристик тушения модельных очагов пожара: а – непрерывное распыление; б – импульсное распыление

На рисунке 1.14 показаны совмещенные гистограммы средних значений характеристик тушения модельных очагов пожара. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что с точки зрения минимизации времен тушения (прекращения тления) приоритетным является использование непрерывного распыления с использованием распылительной форсунки с максимальным значением удельной плотности орошения (ФМТ-60). Установлено, что времена полного тушения различных материалов (при идентичных параметрах распыления) могут отличаться более чем в 20 раз, как и плотности орошения (рисунок 1.14б). Таким образом, при разработке систем пожаротушения выбор параметров распыления должен осуществляться исходя из анализа всех материалов, содержащихся в помещении. С точки зрения минимизации расхода воды предпочтительным является импульсное распыление. Такой подход позволяет уменьшить значения требуемой плотности орошения, необходимой для тушения модельного очага, на 60–70% (рисунок 1.14б). Выбор распылительной форсунки также существенно зависит от типа очага. Так, для модельных

очагов (№2), (№3), (№4), (№5) наиболее эффективно показала себя форсунка ФМТ-60, а для модельных очагов (№1), (№6), (№7) – ФМТ-100.



а)



б)

Рисунок 1.14 – Совмещенные гистограммы средних значений характеристик тушения модельных очагов пожара: а – время прекращения тления (t_d'); б – плотность орошения (ψ)

По результатам выполненных экспериментов для обобщения результатов исследований (по аналогии с [13]) для всех рассмотренных случаев и каждого типа модельного очага вычислены значения коэффициента эффективности тушения (FSPI) – K_{ef} :

$$K_{ef} = 1/(t_d' \cdot \psi \cdot S_m),$$

где $S_m=0,15 \cdot 0,15=0,0225$ – площадь модельного очага, м².

Коэффициент эффективности тушения (FSPI) позволяет учесть две наиболее значимые характеристики тушения: длительность тушения и суммарный затраченный объем воды [13]. Для сравнения полученных K_{ef} вычислены нормированные значения данного коэффициента K_{ef}' . Для каждого типа очага выбиралось максимальное значение K_{ef} , на которое впоследствии делились все значения коэффициентов эффективности тушения для данного очага. Гистограмма нормированных значений коэффициента эффективности тушения представлены на рисунке 1.15.

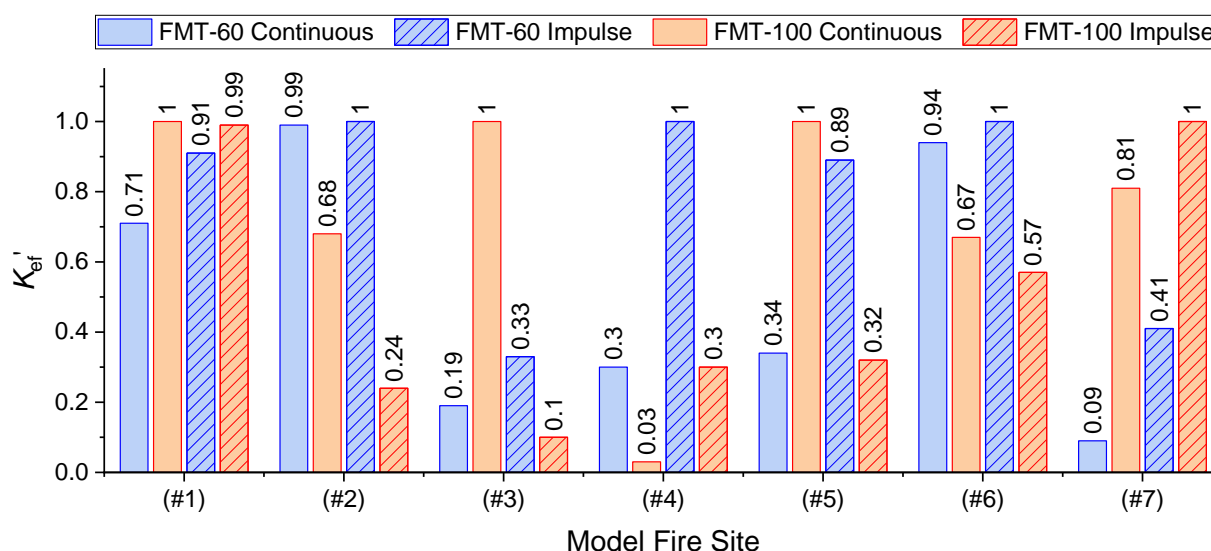


Рисунок 1.15 – Нормированные значения коэффициента эффективности тушения модельных очагов горения

На рисунке 1.15 показано, что для большинства типов очагов (№1, №2, №4, №5, №6, №7) наиболее эффективное тушение достигается при использовании импульсного распыления. Только в случае очага из ДВП (№3) наиболее эффективным являлся непрерывный способ подачи воды. Также из рисунка 1.15 видно, что при рассмотрении K_{ef}' минимальной эффективностью обладает непрерывное распыление при использовании форсунки ФМТ-60.

В приложении А приведен перевод части данной научно-исследовательской работы на английский язык.

1.4 Выводы

В результате выполненных экспериментов определены минимальные значения плотности орошения, необходимые и достаточные для тушения модельных очагов на основе материалов, соответствующих пожарам в помещениях. Вычислены значения коэффициента эффективности тушения, с использованием которого возможен комплексный анализ времени тушения и затраченного объема воды. Показано, что максимальное значение плотности орошения соответствует древесине и ДСП (11–18 л/м²), а минимальное значение – линолеумам, ПВХ панелям и ламелевым жалюзям, для которых необходимо обеспечить значения ψ не менее 2,2 л/м². Минимальное значение необходимой для тушения модельного очага плотности орошения (ψ) соответствовало минимальной удельной плотности орошения (I). При комплексном анализе (т.е. с учетом значимых характеристик тушения – время тушения и суммарный затраченный объем воды) установлено, что для большинства типов очагов наиболее эффективное тушение достигается при использовании импульсного распыления. В проведенных экспериментах установлены эффективные параметры работы импульсных систем тушения материалов, типичных для помещений различного назначения.

2 Проектирование АСУ импульсным пожаротушением производственного помещения

На основании полученных результатов в п.1, следует приступить к проектированию АСУИПТ производственного помещения. При этом, стоит обратить особое внимание на выборе автоматизированной системы управления именно импульсным распылением, что также объясняется вышеполученными данными.

Для комплексного понимания особенностей выбранного производственного помещения необходимо выполнить системный анализ объекта автоматизации, описать происходящие в нем технологические процессы и имеющееся технологического оборудование. Также необходимо отметить, что рассматриваемое помещение уже имеет действующую АСПТ, использующую непрерывное распыление жидкости для тушения пожаров. Из этого следует необходимость анализа характеристик установленной в данном помещении системы пожаротушения.

2.1 Системный анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации выбрано реальное производственное помещение технического назначения, т.е. включающее технологическое оборудование. Таким помещением является часть корпуса 421/1: машинный зал экструдеров линии А, относящийся к производству ПЭВД, предприятия ООО «Томскнефтехим», г. Томск.

Объектом является нежилое здание. Материал стен – кирпичные, бетонные. Данное помещение относится к категории А по пожарной опасности: повышенная взрывопожароопасность [39], что указывает на наличие легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ. Класс взрывоопасной зоны В-Ia, означающий зону, расположенную в помещении, в котором при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или

паров легковоспламеняющихся жидкостей (далее – ЛВЖ) с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей [40]. Технологический процесс в данном помещении связан с такими взрывоопасными смесями как этилен и полиэтилен, поэтому корпус 421/1 имеет категорию и группу ПВТ.2 взрывоопасных смесей.

2.1.1 Технологические процессы и оборудование

Помещение машинного зала экструдеров относится к корпусу 421/1, отвечающего за узел первичной грануляции. Реакционная масса с температурой 180 – 280 °С по обогреваемому паром трубопроводу, поступает в отделитель высокого давления А-401, где разделяется на жидкую фазу с растворенным в ней этиленом и на газовую – возвратный газ высокого давления. Расплав полиэтилена по трубопроводу, обогреваемому паром среднего давления (далее – СД), поступает из А-401 в отделитель низкого давления А-402, где происходит дальнейшее отделение полиэтилена от остаточного этилена при заданном рабочем давлении. Далее, из А-402 расплав направляется в первую зону основного экструдера А-404. Цилиндр экструдера А-404 приводится в рабочее состояние нагревом паром СД, в процессе работы охлаждение экструдера производится горячей водой.

С помощью вспомогательного экструдера А-470 в поток расплава полиэтилена перед загрузочной зоной дозировано подается расплав «мастербатча» – смесь добавок, понижающих трение, антиадгезив, ингибитор окисления и другие материалы, предназначенные для улучшения качества полиэтилена. Дозировка гранул мастер-батч осуществляется непрерывно с помощью весового питателя А-484 с производительностью в соответствии с заданным рецептом.

После повышения давления и смешивания с мастер-бэтчем расплав полиэтилена выдавливается через фильеру в гранулятор А-475 основного экструдера А-404. Фильера обогревается водяным паром, что предотвращает забивку отверстий фильеры застывшим полимером. Расплав, выдавленный из

отверстий в виде стренг, срезается вращающимся ножом. В камеру гранулирования подается циркулирующая вода, охлаждающая полученные гранулы и транспортирующая их дальше по цепочке в центробежную сушилку А-414.

Помимо основных вышеперечисленных процессов, также функционируют автоматическая система смазки редукторов основного и вспомогательного редукторов, система возвратного газа низкого давления и другие, связанные в том числе с другими помещениями и корпусами.

Технологический процесс получения полиэтилена высокого давления протекает путем свободно-радикальной полимеризации при высоких давлениях и высоких температурах, находящихся в области возможного взрыва. Исходное сырье - этилен. В качестве инициатора процесса используется кислород или органические перекиси, в качестве регулятора молекулярной массы – пропилен и пропионовый альдегид (ПАЛ). Этилен и пропилен способны образовывать взрывоопасные смеси с кислородом. Органические перекиси, ПАЛ и растворитель – пожаровзрывоопасны, а этилен к тому же относится к токсичным веществам. Производство полиэтилена высокого давления является взрывопожароопасным и связано с применением источников радиоактивного излучения. Данные особенности технологического процесса нужно учитывать при проектировании АСПТ.

Основное технологическое оборудование, находящееся в помещении машинного зала:

- основной экструдер А-404;
- вспомогательный экструдер А-470;
- гранулятор основного экструдера А-475;
- А492/1,2 – вытяжные вентиляторы;
- А425/1,2 – воздуходувки;
- различные теплообменные аппараты.

Основными источниками опасности, безусловно, являются экструдеры. Необходимо обеспечивать непрерывную подачу воздуха для

обдува электродвигателей экструдеров и режущих устройств. Прекращение подачи воздуха может привести к взрыву и пожару в случае проникновения в них этилена.

2.2 Анализ действующей АСПТ

Автоматическая система пожарной сигнализации (далее – АПС) – совокупность технических средств, предназначенных для обнаружения пожара, обработки, передачи в заданном виде извещения о пожаре, специальной информации и (или) выдачи команд на включение автоматических установок пожаротушения и включение исполнительных установок систем противодымной защиты, технологического и инженерного оборудования, а также других устройств противопожарной защиты.

Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) предназначена для своевременного сообщения людям информации о возникновении пожара и о необходимости эвакуироваться.

Центральное оборудование системы установлено в здании центрального пункта управления производства ПЭВД (430 корпус). Алгоритмом предусмотрено формирование и передача сигналов о пожаре на центральный пост охраны в здание 430.

Алгоритм работы оборудования АПС предусматривает выполнение функций автоматической пожарной сигнализации в корпусе 421/1, в том числе на рассматриваемом объекте защиты.

Приемно-контрольный пожарный прибор переходит в режим «Пожар» при срабатывании двух извещателей. При срабатывании лишь одного извещателя в шлейфе сигнализации, система сформирует сообщение «Сработка датчика», а по истечению 55 секунд «Внимание».

При механическом воздействии на орган управления одного из ручных пожарных извещателей, установленных на пути эвакуации, сигнал «Пожар» формируется незамедлительно.

При пожаре пульт С2000М формирует командный импульс на запуск системы оповещения и управления эвакуацией, управление оборудованием ОВиК (общеобменной вентиляции и кондиционирования, дымоудаления), АПТ (автоматической установки водяного пожаротушения).

При этом соответствующие сигналы поступают на выходные реле блоков контрольно-пусковых, которые в свою очередь включают световые и звуковые оповещатели, управляют соленоидами АПТ. Также соответствующие сигналы поступают на выходные реле приборов приемно-контрольных и блоков пусковых для управления оборудованием ОВиК (отключение вентиляторов приточно-вытяжной вентиляции, закрытие огнезадерживающих клапанов, отключение оборудования кондиционирования, включение вентиляторов дымоудаления и подпора, открытие клапанов дымоудаления).

Одновременно с этим информация о пожаре передается в систему газоанализа (СГА), в существующую систему автоматического пожарной сигнализации на объекте; информация о состоянии оборудования отображается на световых индикаторах блоков индикации.

Предусмотрено дистанционное управление оборудованием системы автоматической установки пожаротушения (АУПТ) от приборов, предусмотренных разделом АПС.

Рассмотрим подробнее технические средства, входящие в состав данной АПС.

2.2.1 Технические средства в составе АПС

В рассматриваемой системе в качестве основного оборудования системы автоматической пожарной сигнализации приняты к использованию приборы производства ЗАО «НВП Болид». Выбор объясняется тем, что оборудование имеет все необходимые сертификаты в соответствии с требованиями нормативных документов в области противопожарной защиты Российской Федерации.

Система включает в себя следующие устройства:

- повторители интерфейса С2000-ПИ;
- клавиатура С2000-К;
- блоки контрольно-пусковые С2000-КПБ;
- приборы приемно-контрольные Сигнал-20М;
- блок Ethernet С2000-Ethernet;
- модуль взрывозащищенный Ехi МИП-2И-ЕХ;
- прибор приемно-контрольный охранно-пожарный (барьер искрозащиты) Яхонт-1И-03;
- извещатели пожарные дымовые SLR-E-IS;
- извещатели пожарный пламени ИПЭС-ИК-УФ;
- линейные тепловые извещатели PHSC-135 XLT;
- извещатели пожарные ручные ИПР535 Горизонт;
- источники резервированого питания СКАТ2400И7 исп.5000;
- оповещатели пожарные звуковые ВС07-Е;
- оповещатели пожарные световые ВЕхВG21.

Данное оборудование можно условно разделить на четыре группы: извещатели пожарные, оповещатели, приборы приемно-контрольные и шкафы, относящиеся к АПС. В соответствии с требованиями СПЗ.13130.2009 [39] на объекте предусмотрен 1-ый тип оповещения (звуковые и световые мигающие оповещатели).

2.2.1.1 Извещатели пожарные

В рассматриваемой АПС используются 4 вида пожарных извещателей. В таблицу 2.1 сведены их основные характеристики.

Извещатель пожарный дымовой предназначен для обнаружения дыма, а, следовательно, и спровоцировавших его возгораний.

Принцип работы основывается на том, что посылаемый луч при наличии в воздухе частиц дыма рассеивается. Прибор при помощи

приемника фиксирует это изменение и активирует систему сигнализации. В данном случае, при возникновении дыма извещатель формирует электрический сигнал о возникшем пожаре, регистрируемый прибором Сигнал-20М. В качестве барьера искрозащиты между Сигнал-20М и извещателями пожарными дымовыми предусмотрен прибор Яхонт-1И-03.

Таблица 2.1 – Основные характеристики пожарных извещателей

Тип, модель и внешний вид извещателя	Характеристики
<p data-bbox="240 736 762 835">Извещатель пожарный дымовой SLR-E-IS</p> 	<p data-bbox="839 736 1468 1032">Данный дымовой извещатель применяется для защиты взрывоопасных зон. Индикация тревоги осуществляется двумя светодиодами. Параметры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="890 1059 1468 1160">– Электропитание: 15-30 В постоянного тока; <li data-bbox="890 1187 1353 1227">– Ток тревоги: макс. 40 мА; <li data-bbox="890 1249 1219 1290">– Диаметр: 100 мм.
<p data-bbox="240 1314 754 1413">Извещатель пожарный пламени ИПЭС-ИК-УФ</p> 	<p data-bbox="839 1314 1468 1742">Является извещателем комбинированного действия, регистрирующим электромагнитное излучение пламени в двух спектральных диапазонах – инфракрасном (ИК) и ультрафиолетовом (УФ). Параметры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="890 1769 1468 1870">– Электропитание: 18-32 В постоянного тока; <li data-bbox="890 1897 1468 1998">– Тип кабельного ввода: взрывозащищенный; <li data-bbox="890 2024 1468 2065">– Угол обзора ИПЭС: не менее

	<p>90°;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Выходные сигналы: аналоговый 4...20 мА, HART-интерфейс, реле «Пожар» и «Неисправность», цифровой сигнал в стандарте RS-485 с интерфейсом Modbus RTU.
<p>Линейный тепловой извещатель PHSC-135 XLT</p> 	<p>Термокабель типа XLT имеет специальную внешнюю оболочку, устойчивую к низким температурам. Специально разработан для применения в условиях тяжелых климатических условиях. Формирует электрический сигнал о возникшем пожаре, регистрируемый прибором МИП-2И-Ех, передаваемый последний на ШС прибора Сигнал-20М. Параметры:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Логика работы: на одну температуру; - Температура срабатывания: 57 °С; - Диапазон рабочих температур: -44...+105 °С.
<p>Извещатель пожарный ручной ИПР535 Горизонт</p>	<p>Предназначен для ручного включения сигнала пожарной тревоги во взрывоопасной зоне класса 0 и ниже. Параметры:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Тип: 2-х проводный;

	<ul style="list-style-type: none"> - Световая индикация: «дежурный режим», «пожар»; - Напряжение питания по ШС: 9...27 В; - Потребляемый ток в режиме «Пожар»: 25 мА.
---	--

Принцип действия пожарных извещателей пламени основан на преобразовании чувствительными элементами электромагнитного излучения пламени в электрический сигнал. При этом в многодиапазонном извещателе пламени ИК и УФ каналы работают по логической схеме «И». Тревожный сигнал формируется извещателем только в том случае, когда оба канала подтверждают наличие очага пожара. Благодаря такой схеме достигается высокая помехоустойчивость извещателя.

Линейный тепловой извещатель представляет собой кабель из двух проводников, работающий как датчик непрерывного действия. Срабатывание данного извещателя происходит при достижении определенной температуры, продавливания изоляции проводников и их последующего замыкания.

В рассматриваемом производственном помещении извещатели установлены по схеме, приведенной в таблице 2.2.

Установка звуковых и световых оповещателей произведена на высоте 2,3 м от уровня пола по всему периметру помещения попарно: звуковой оповещатель находится в непосредственной близости со световым.

Таблица 2.2 – Схема размещения пожарных извещателей в машинном зале корпуса 421/1

Тип извещателя (количество)	Маркировка по месту	Место размещения
Дымовой (3)	ВТН 13.1.1 – 13.1.3	На металлической балке над установкой А-404.
Пламени (3)	ВТФ 41.16.1	На стене. Луч направлен на установку А-470.
	ВТФ 41.17.1	На стене. Луч направлен на установку продуктового сепаратора остатка А-403.
Линейный тепловой (2)	ВТК 1.1.1, 1.2.1	На фальшпотолке.
Пожарный ручной (2)	ВТМ 15.6.1	Рядом с входом, около стола персонала.
	ВТМ 15.7.1	Рядом с охладителем А-453.

2.2.1.2 Приборы приемно-контрольные

Прибор приемно-контрольный охранно-пожарный Сигнал-20М предназначен для:

- контроля 20-ти зон пожарной сигнализации;
- приема извещения от автоматических и ручных пожарных извещателей;
- контроля ШС с включенными в них выходными реле резервированного источника питания СКАТ2400И7 исп.5000 (контроль наличия сетевого напряжения, величины выходного напряжения, величины напряжения батарей). По линии RS-485 выдает информацию о состоянии СКАТ2400И7 исп.5000 на центральное оборудование системы;
- управления звуковыми и световыми оповещателями (ЗО и СО);

- передачи сигнала при пожаре и неисправности оборудования системы АПС в защищаемом здании 421/1 объекта в систему газоанализа (раздельно по каждому направлению защиты) на релейном уровне;
- передачи сигнала при пожаре в здании 421/1 в систему ОВиК на релейном уровне;
- передачи сигнала на запуск насосов системы пожаротушения на релейном уровне;
- приёма команд и выдачи извещений по интерфейсу RS-485 на сетевой контроллер.

С2000-ПИ предназначен для гальванической изоляции. В ИСО «Орион» используется для подключения приборов для увеличения длины двухпроводного магистрального интерфейса RS-485.

С2000-КПБ предназначен для управления исполнительными устройствами системы оповещения о пожаре, управления исполнительными устройствами системы автоматического водяного пожаротушения и контроля цепей управления.

С2000-К предназначена для работы в составе ИСО «Орион». Используется в системе сигнализации для постановки на охрану, снятия с охраны и отображения происходящих в системе событий.

С2000-Ethernet предназначен для трансляции данных интерфейса RS-232/RS-485 в Ethernet и обратно. В ИСО "Орион" используется для организации связи приборов по локальной сети.

С2000М предназначен для информационного объединения приборов ИСО «Орион» с целью организации единого центра управления противопожарным оборудованием и сбора системных сообщений, объединения шлейфов сигнализации в разделы, создания перекрестных связей между разделами и выходами разных приборов, расширения возможностей отображения информации. Взаимодействие между пультом "С2000" и приборами ИСО «Орион» по интерфейсу RS-485 происходит с передачей информации в протоколе «Орион».

Вышепредставленные приборы приемно-контрольные пожарной сигнализации, блоки пусковые установлены в шкафу пожарной автоматики ШПА.2 по месту в корпусе 421/1 в помещении электрошкафов. Пульт контроля и управления охранно-пожарный С2000М располагается на центральном пункте управления в корпусе 430.

2.2.1.3 Шкаф пожаротушения

Шкаф пожаротушения ШПА.2 фирмы RITTAL расположен в помещении электрошкафов корпуса 421/1. Данный шкаф является центральным звеном, куда заводятся шлейфы сигнализации и управления со всех помещений здания. По интерфейсу RS-485 происходит прием команд и выдача извещений на пульт контроля и управления (сетевой контроллер) С2000М. В состав шкафа входят устройства, перечисленные в 2.1. Помимо этого ШПА.2 содержит стандартные для шкафов устройства: автоматические выключатели на 6 А, предохранители на 6 А, клеммы различного типа, базовое наполнение в виде DIN-реек, датчика положения двери, заземляющих шин, розеток и пр.

Данный шкаф пожаротушения посредством RS-485 связан со шкафом ШПА.1 в здании 430, где располагается пост охраны с круглосуточным пребыванием дежурного персонала.

2.2.2 Средства пожаротушения

В рассматриваемом помещении действует автоматическая сигнализация, сблокированная с автоматической системой пожаротушения. То есть при срабатывании сигнала «Пожар» система пожаротушения приводится в действие согласно описанному алгоритму автоматически.

В качестве средств пожаротушения, данное производственное помещение включает:

1 автоматическая сухотрубная спринклерная система с двойным контролем запуска;

- 2 пожарные краны;
- 3 огнетушители типа: ОУ-5, ОВП-10;
- 4 песок.

Спринклерная система представляет собой магистраль и разводку трубопроводов, содержащую под напором огнетушащее вещество (далее – ОТВ) или заполняемую ОТВ при обнаружении возгорания [41]. Такие системы используются в случаях, когда необходимо потушить небольшой локальный пожар в помещении. Данная система является автоматической, для ее срабатывания не нужен контроль человека, что связано с устройством спринклера. Его отверстие закрыто тепловым замком или теплочувствительной колбой, которая рассчитана на определенную температуру. Как только температура превышает заданное значение, замок спринклера распаивается (или лопаются колба), после чего вода орошает защищаемую зону. Спринклерные системы бывают двух типов: «мокрые» и «сухие». В данном случае используется вторая, что указывает на водовоздушную систему, предназначенную для защиты помещения, температура в котором может опускаться ниже 0 °С. В такой системе водой заполняется только подводящий трубопровод, а остальные заполняются сжатым воздухом или азотом.

Настоящая спринклерная система обладает двойным контролем старта установки. Это означает, что активация установки пожаротушения произойдет при срабатывании пожарных извещателей и при запуске хотя бы одного спринклерного распылителя. Такой способ дополняет принцип работы контрольно-пускового узла управления контролем целостности цепей оборудования (изменение давления, разрывы, поломки), что полностью исключает ложную тревогу.

Пожаротушение производства ПЭВД предусмотрено от системы хозяйственно-питьевого и противопожарных водопроводов.

2.2.3 Преимущества и недостатки АСПТ

Анализ преимуществ и недостатков действующей в рассматриваемом производственном помещении АСПТ следует проводить относительно используемой спринклерной системы пожаротушения.

К преимуществам АСПТ спринклерного типа относят:

- 1 простота и широкие возможности монтажа оборудования и его дальнейшего обслуживания. Фактически система не нуждается в регулярном осмотре, проверках и т.п;
- 2 невысокая стоимость установки, а также низкие расходы на ОТВ в случае пожара – вода дешевая, а ее расход небольшой;
- 3 нет ограничений по размеру помещений, количеству персонала. При этом ОТВ полностью безопасно для здоровья человека;
- 4 простая замена спринклеров, а также составляющих их тепловых замков и колб;
- 5 полная автоматизация и автономность;
- 6 независимость от питания в очаге пожара;
- 7 локальное срабатывание одного или нескольких распылителей только там, где нужно;
- 8 долговечность.

При этом данного типа система обладает следующими недостатками:

- 1 инерционность. Тепловой замок разрушается продолжительно – до 300 или 600 сек [41];
- 2 реагируют только на температуру;
- 3 невозможность использовать на объектах с слишком высокими температурами;
- 4 невозможно запустить ручную;
- 5 ограниченность классами пожара А, В и видами тушащих составов (вода, пена);
- 6 тепловые замки делают невозможным применение спринклеров, где неравномерно, непредвиденно нагревается воздух;

7 спринклеры нужно менять после активации.

Таким образом, несмотря на широкий спектр преимуществ спринклерных систем пожаротушения, есть ограничения, которые могут стать решающими в некоторых случаях и должны быть обязательно учтены.

2.3 Техническое задание на проектирование системы управления

1 Общие положения

1.1 Полное наименование системы и ее условное обозначение: АСУ импульсным пожаротушением производственного помещения.

1.2 Плановые сроки начала и окончания работы по созданию системы.

Плановый срок начала работ по проектированию системы – 1 февраля 2023 года.

Плановый срок окончания работ по проектированию системы – 31 мая 2023 года.

1.3 Перечень нормативно-технических документов, методических материалов, использованных при разработке ТЗ:

– ГОСТ 34.602-89 [42]. Техническое задание на создание автоматизированной системы;

– ГОСТ 34.601-90 [43]. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания;

– ГОСТ 34.201-89 [44]. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплексность и обозначение документов при создании автоматизированных систем;

– СП 485.1311500.2020 [45]. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

– ГОСТ 12.2.047-86 [46]. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника. Термины и определения.

2 Назначение и цели создания системы

АСУИПТ производственным помещением предназначена для своевременного и безошибочного обнаружения пожара, а также его эффективной локализации и тушения путем точечного импульсного распыления воды.

3 Характеристика объекта автоматизации

Объектом автоматизации является реальное производственное помещение технического назначения корпуса 421/1, относящего к производству ПЭВД, предприятия ООО «Томскнефтехим», г. Томск. Объект включает широкий перечень сложного технологического оборудования, а также процессы, связанные с взрывопожароопасной средой.

4 Требования к системе

4.1 Структура АСУ

Проектируемая система имеет трехуровневую структуру и строится на базе микропроцессорной техники (рисунок 2.1).

Нижний уровень АСУИПТ производственного помещения включает в себя пожарные извещатели и оповещатели, а также исполнительные механизмы, встроенные в спринклерную систему пожаротушения. Стоит отметить, что данный уровень также подразумевает наличие физических соединений шлейфа сигнализации между устройствами и микропроцессорной техникой среднего уровня.

Средний уровень строится на базе программируемого логического контроллера АСУПТ, который выполняет функции сбора, обработки информации от устройств нижнего уровня, передачи информации о состоянии параметров процесса на АРМ оператора, а также выдает управляющие воздействия на исполнительные механизмы.

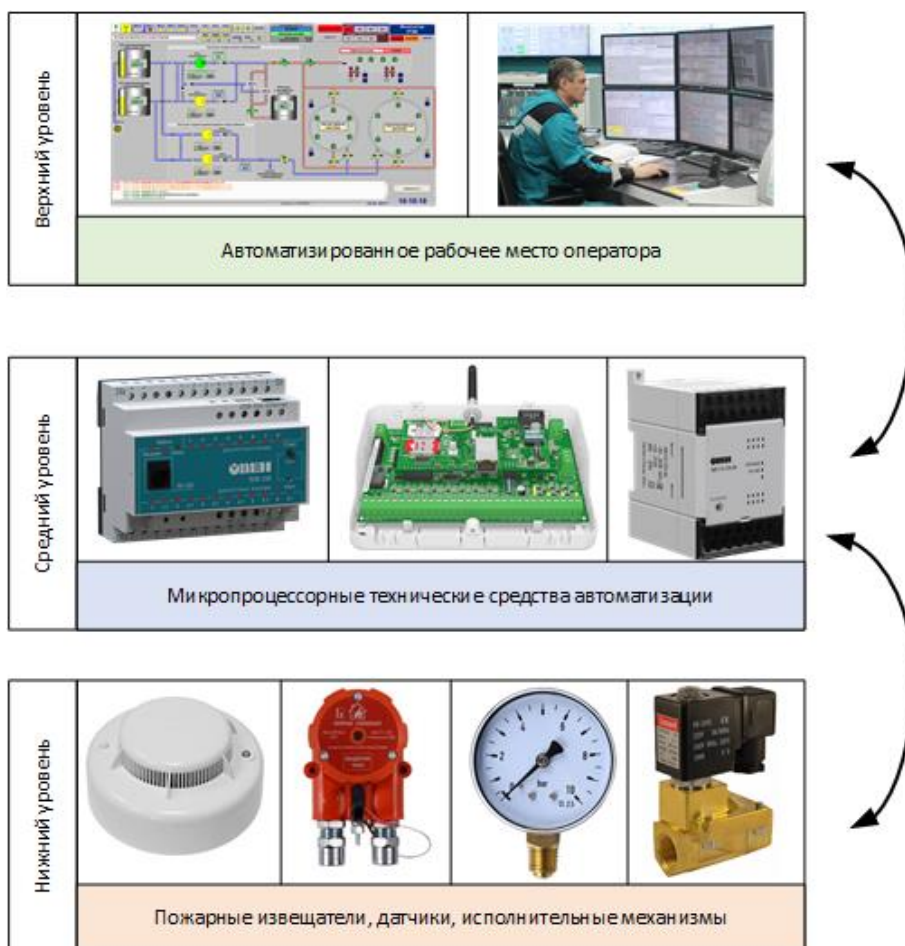


Рисунок 2.1 – Архитектура АСУИПТ производственного помещения

Верхний уровень реализуется автоматизированным рабочим местом оператора, представляющего собой персональный компьютер с установленным специальным программным обеспечением. Данное ПО должно обеспечивать прием и удобную своевременную визуализацию информации о состоянии системы и ходе процесса тушения, а также оперативное управление этим процессом.

В случае необходимости данная система может быть интегрирована в системы хоз. учета и MES, для учета расхода воды на тушение.

4.2 Метрологические характеристики

Система должна содержать шлейф пожарной сигнализации для подключения пожарных извещателей и оповещателей, а также измерительные каналы для следующих параметров: температура и давление.

Средства измерения, составляющие измерительные каналы должны быть первично поверены и калиброваны; внесены в Государственный реестр средств измерений, иметь свидетельство об утверждении типа измерений и методики поверки, регламентированные в приложении к данному свидетельству и оформленные в соответствии с действующими нормами и правилами.

4.3 Надежность системы

Так как данная система предназначена для тушения пожара, от нее требуется обеспечение функций проверки наличия пожара в помещении, сохранения работоспособности и восстановления своих функций при следующих внештатных ситуациях при:

- сбоях в системе электроснабжения;
- ложных срабатываниях датчиков;
- ошибках в работе технических средств автоматизации;
- отсутствии воды в трубопроводах спринклерной системы.

4.4 Функции АСУ

Перечень функций АСУ:

- сбор информации с первичных датчиков и преобразователей;
- преобразование сигналов в унифицированные;
- обработка полученной информации, сравнение параметров с уставками и формирование команд управления;
- технологическая сигнализация;
- диагностика состояния оборудования;
- визуализация информации в удобном для оперативного персонала виде;
- ведение базы данных реального времени;
- формирование отчетов о ходе технологического процесса;
- архивирование информации о ходе технологического процесса;

- обмен информацией между вычислительными средствами АСУ ТП;
- выдача оператору рекомендаций по управлению процессом;
- оперативный контроль технологических параметров;
- ручной ввод информации в систему с использованием АРМ оператора.

4.5 Программное обеспечение

Программное обеспечение должно обеспечивать выполнение всех требований к системе. При этом обязательно наличие необходимого комплекта документации, позволяющей осуществлять технологическое конфигурирование алгоритмов ПО на этапе проведения пусконаладочных работ и в процессе промышленной эксплуатации без участия разработчика ПО. Программное обеспечение должно выполнять логические и вычислительные операции по реализации функций сбора, обработки, хранения, управления, передачи и визуализации данных в соответствии с функциями системы автоматизации и включать: общесистемное, прикладное, специальное ПО, пакет программ тестового контроля технических средств, входящих в составы систем автоматизации.

4.6 Техническое обеспечение

Комплекс технических средств АСУ должен быть достаточным для выполнения всех автоматизированных функций АСУ. В нем в основном должны использоваться технические средства серийного производства. Тиражируемые АСУ и их части должны строиться на базе унифицированных технических средств. Технические средства АСУ, используемые при взаимодействии АСУ с другими системами, должны быть совместимы по интерфейсам с соответствующими техническими средствами этих систем и используемых систем связи. Технические средства АСУ должны быть размещены с соблюдением требований, содержащихся в технической, в том

числе эксплуатационной, документации. Размещение технических средств, используемых персоналом АСУ при выполнении автоматизированных функций, должно соответствовать требованиям эргономики. Любое из технических средств АСУ должно допускать замену его средством аналогичного функционального назначения без каких-либо конструктивных изменений или регулировки в остальных технических средствах АСУ. Технические средства АСУ допускается использовать только в условиях, определенных в эксплуатационной документации на них.

4.7 Организационное обеспечение

Необходимо наличие документов, которые устанавливают порядок и правила функционирования персонала АСУ ТП, а также организационных мероприятий, направленных на успешное внедрение и функционирование системы и на безопасное ведение технологического процесса.

4.8 Математическое обеспечение

Математическое обеспечение подразумевает наполнение системы специальным ПО, обеспечивающим ее совокупностью математических методов и алгоритмов для решения задач и обработки информации с применением вычислительной техники в АСУ.

На основании анализа объекта автоматизации, действующей на нем АСПТ, а также технического задания на проектирование АСУИПТ следует приступить к разработке проектно-конструкторской документации.

2.4 Разработка структурной схемы системы управления

При разработке структурной и функциональной схем, следует изучить и проанализировать схемы действующей АСПТ реального объекта. Учитывая тот факт, что данные документы являются защищенной собственностью предприятия, то в данной работе они приведены не будут. Так как проектируемая система предлагается в качестве альтернативы действующей,

то некоторые решения, реализованные в последней, следует сохранить или оптимизировать.

Как видно из рисунка 2.1, проектируемая система имеет трехуровневую систему и строится на базе микропроцессорного устройства (программируемого логического контроллера).

Нижний уровень реализует функции получения, обработки и передачи информации о технологических параметрах, а также состоянии пожарных извещателей. Настоящая система подразумевает использование различных пожарных извещателей: дымовых, тепловых, пламени, ручных, звуковых и световых, а также требуемых световых табло. Помимо извещателей на данном уровне в качестве исполнительных механизмов используются соленоидные клапаны, а датчиками являются преобразователи уровня и расхода.

Средний уровень реализует следующие функции: прием и обработка технологических данных с нижнего уровня, формирование команд управления, сигнализация, блокировок и защит технологического оборудования, подразумевают применение ПЛК. В ште автоматического пожаротушения, находящемся в непосредственной близости от объекта автоматизации, размещается оборудование: ПЛК, источники питания, устройства защиты, релейно-контактная аппаратура и др. Для связи с верхним уровнем предусматривается наличие коммутатора.

На верхнем уровне осуществляется составление отчетов, сводок и справочных документов о состоянии технологического оборудования; формирование баз данных для хранения обработанной информации и передачи ее в MES-системы; при управлении в ручном режиме формируются и передаются сигналы управления на исполнительные механизмы нижнего уровня; диагностика состояния оборудования нижнего и среднего уровней, технических и программных средств системы управления. Верхний уровень включает: АРМ начальника смены и оператора АСУИПТ, шкаф связи, основной и резервный сервера ввода и вывода, принтер.

Структурная схема представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.022 С1.

2.5 Разработка функциональной схемы системы управления

Технологическое оборудование, технические средства и т.д. на функциональных схемах обозначают в соответствии с ГОСТ 21.403–80 [6] и ГОСТ 21.208–2013 [47].

Первичные измерительные преобразователи, пожарные извещатели и исполнительные механизмы изображаются на функциональной схеме условно в виде упрощенных контуров. От них выводятся линии связи с номером измерительного или управляющего каналов. Далее линии связи идут к условному изображению щита пожаротушения в виде прямоугольника, на котором условно изображены контроллер, АРМ оператора и система хозяйственного учета.

На листе с шифром ФЮРА.421000.022 С2 представлена функциональная схема АСУИПТ производственного помещения.

Перед началом разработки функциональной схемы определяются измерительные каналы (1...9), каналы сигнализации (1...7, 9, 11...14), каналы управления (10, 15...17). Измерительные каналы являются аналоговыми и собирают данные от датчиков полевого уровня. На схеме необходимо предусмотреть функцию передачи данных от ПЛК к АРМ оператора и системам хозяйственного учета.

На схеме в определенном масштабе схематично показан объект автоматизации: производственное помещение. Для реализации АСУИПТ помещение условно разделено на 8 зон, внутри которых располагается свой объем средств автоматизации. Стоит отметить, что данное помещение не имеет сплошных потолков. Так между 5 и 8 зоной располагается техническое оборудование: отделитель низкого давления А-402, который уходит в открытое пространство на большие отметки высоты.

В случае пожара тушащее средство в виде воды поступает от системы хозяйственно-питьевого и противопожарного водопроводов, однако в случае отсутствия в них воды, дополнительный источник подачи не предусмотрен. Для этого в систему решено ввести резервуар горизонтальный стальной (далее – РГС) с объемом 5 м³, находящийся под рабочим давлением 1 МПа. Давление внутри резервуара контролируется измерительным преобразователем избыточного давления 7а.

В трубопроводах от РГС и системы противопожарного водопровода течет вода, следовательно, на схеме среда обозначена цифрой 1. Обозначение «1+3» на следующем участке трубопровода указывает на то, что в нормальных условиях в нем находится воздух, а при пожаре – вода. Для контроля наличия воды в трубопроводе при включении АСУИПТ предусмотрен расходомер 8а. Данный датчик позволит помимо прочего вести хозяйственный учет израсходованной на пожаротушения воды для расчет технико-экономических показателей. Уровень воды в РГС контролируется рефлексрадарным уровнемером 9а.

Для обнаружения и особенно локализации пожара каждая зона оборудована определенным набором пожарных извещателей. В каждой зоне решено расположить по два дымовых и одному тепловому извещателя. Такой подход поможет исключить ложное срабатывание одного дымового датчика и реализовать схему сработки 2 из 2, а тепловой извещатель при повышении температуры просигнализирует о возможном наличии пожара в зоне. Для дополнительного контроля температуры между зонами располагаются термопары. Для контроля важного технологического оборудования в соответствующих зонах размещены пожарные извещатели пламени. В зонах, расположенных рядом с выходами из помещения, установлены ручные пожарные извещатели, необходимые в случае обнаружения возгорания рабочим персоналом. Перечисленные пожарные извещатели заводятся в аналоговые входы ПЛК.

При срабатывании АСПТ по каналу 10 на соответствующие, нормально замкнутые соленоидные клапаны, установленные в зоне обнаружения пожара и на водопроводах перед входом в помещение, при помощи дискретного выходного сигнала от контроллера подается напряжение, что приводит к его открытию и распылению воды. Также включаются звуковая, световая сигнализации и загорается световое табло внутри помещения «Выход».

Соответствие условного изображения извещателя и его наименование, а также общее количество штук на схеме приведено в таблице на чертеже.

2.6 Выбор технических средств автоматизации и составление заказной спецификации

Спецификация предназначена для составления на ее основе заказа на средства измерения, а также для облегчения чтения проектной документации [48].

Разработка АСУИПТ в данной работе требует использования измерительных преобразователей температуры, давления, расхода и уровня; исполнительных механизмов в виде соленоидных клапанов; пожарных извещателей, нацеленных на обнаружение возгорания и сигнализации о состоянии пожара.

2.6.1 Выбор датчиков температуры

Измерительные преобразователи температуры находятся на позициях 1а-6а и должны быть одинаковы, так как их условия эксплуатации одинаковы.

Температура в машинном зале экструдеров составляет в среднем 30 °С. Диапазона измерений выбираемого датчика должно быть достаточно в случае пожара. В таблице 2.3 приведены технические характеристики нескольких отечественных вариантов температурных датчиков с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА.

Таблица 2.3 – Технические характеристики датчиков температуры

Параметр	Тип датчика температуры, характеристика		
	ТСМУ-205	Метран-286	ТПУ 0304/М1-Н
Диапазон измерения	-50...+150 °С	-50...+500 °С	-50...+100 °С
НСХ	100М	Pt100	100П
Класс допуска	1	2	2
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Степень защиты	IP65 (сальник М16×1,5)	IP65	IP65 (сальник М16×1,5)
Производитель	Элемер	Метран	Теплоприбор
Цена	от 4185 руб.	от 17300 руб.	от 7085 руб.

Подходящим по диапазону и цене является преобразователь термосопротивления ТСМУ-205.

2.6.2 Выбор датчика давления

Датчик давления в данной работе необходим для измерения и передачи на АРМ значений избыточного давления в РГС воды. Давление в РГС должно поддерживаться равным 0,5 – 1МПа. Для данной задачи в промышленных условиях оптимальным вариантом является использование отечественного измерительного преобразователя модели АИР-10 производства НПП «Элемер», г. Москва. Полная модель и характеристики приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики датчика давления АИР-10

Наименование	Исполнение	Характеристика
Вид измеряемого давления	ДИ	Избыточное
Код модели	1160	–
Код исполнения корпуса	АГ14	Алюминиевый сплав; винтовые клеммные колодки; тестовые клеммы 4...20 мА

Продолжение таблицы 2.4

Наименование	Исполнение	Характеристика
Код присоединения к процессу	M20	M20 – резьба штуцера
Код климатического исполнения	t050	От минус 10 °С до плюс 50 °С
Код класса точности	A01	Предел допускаемой основной приведенной погрешности ±0,5 %
Диапазон измерений	0...1,6	Измерение от 0 до 1,6 МПа

Безусловным преимуществом выбранного датчика является наличие HART-протокола, что позволит слесарю КИПиА при необходимости корректировать настройки или проверять работоспособность преобразователя при помощи коммуникатора.

2.6.3 Выбор датчика расхода

Первостепенной целью установки измерительного преобразователя расхода является подтверждения наличия воды в системе при инициации процесса пожаротушения, а дополнительной – хозяйственный учет израсходованной воды.

Для выбора расходомера необходимо определить максимальный расход, который будет проходить через систему трубопроводов. Средняя производительность спринклера равна 1,3 л/с. В каждой зоне предполагается расположить по одному спринклеру: всего 8. Тогда расход всех спринклеров будет равен:

$$Q_8 = Q_1 \cdot 8 = 1,3 \cdot 8 = 10,4 \text{ л/с} = 37,44 \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ где}$$

Q_8 – расход на 8 спринклеров;

Q_1 – расход на 1 спринклер.

Полученный расход отражает максимальный расход в системе. Однако номинальное значение примем равным расходу трех спринклеров:

$$Q_3 = Q_1 \cdot 3 = 1,3 \cdot 3 = 3,9 \text{ л/с} = 14,04 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В таблицу 2.5 сведены основные характеристики двух расходомеров отечественного и зарубежного производства.

Таблица 2.5 –Технические характеристики датчиков расхода воды

Параметр	Тип датчика расхода, характеристика	
	ЭЛЕМЕР-РЭМ	8800DF015 Reducer Rosemount
Условный диаметр	40 мм	40 мм
Максимальный расход	46 м ³ /ч	35,9 м ³ /ч
Температура измеряемой среды	-40 °С ...+150 °С	-40 °С ...+232 °С
Степень защиты	IP67	IP66
Цена	от 20000 руб.	от 40000 руб.

Исходя из вышеприведенного расчета остановим свой выбор на отечественном варианте.

2.6.4 Выбор датчика уровня

Простым и надежным инструментом измерения уровня в резервуарах, схожих с РГС, является использование рефлекс-радарного (микроволнового) уровнемера, основанного на принципе генерации устройством высокочастотных электромагнитных импульсов, которые распространяясь по зонду отражаются от поверхности раздела фаз (в данном случае: газовой и жидкой).

Современное отечественное решение в обозначенной области в виде микроволнового уровнемера MicroTREK предлагает отечественный производитель ООО «Прибортехника», г. Москва. Его характеристики приведены в таблице 2.6. Стоит отметить, что данный уровнемер допускает

опционную возможность использования специального ЖК-дисплея в процессе эксплуатации.

Таблица 2.6 –Технические характеристики уровнемера MicroTREK

Параметр	Характеристика
Диапазон измерения	До 24 метров
Точность измерения	от ± 5 мм
Напряжение питания	18-35 В постоянного тока
Температура окружающей среды	от -30 °С (-70 °С при использовании термочехла) до $+60$ °С
Температура измеряемой среды	от -30 °С до $+200$ °С
Давление процесса	До 4 МПа
Выходной сигнал	4-20 мА, HART
Степень защиты	IP67
Цена	от 20000 руб.

Главными преимуществами выбранного уровнемера является возможность использования ЖК-дисплея, наличие HART-протокола, унифицированный токовый сигнал и удобство монтажа.

2.6.5 Выбор исполнительного механизма

Так как проектируемая система является системой импульсного распыления воды, то исполнительных механизм (далее – ИМ) должен работать только на закрытие и открытие. Дополнительным требованиями являются простота, быстроедействие, надежность и дешевизна. Говоря о работе ИМ в двух положениях очевидным выбором его разновидности, является соленоидный клапан. В данной системе использование концевых выключателей в клапанах, позволяющих организовать обратную связь, не является обязательным.

Современным отечественным производителем общепромышленных соленоидных клапанов является ЗАО «РОСМА», г. Москва. Сравнение с устройствами зарубежного производства не имеет смысла ввиду их


дороговизны при одинаковых показателях. В связи с этим остановим свой выбор на соленоидном клапане СК-12-40-ВД в нормально закрытом исполнении. Данный клапан следует установить на каждую из позиций К1 – К7.

2.6.6 Выбор пожарных извещателей

Выбор пожарных извещателей не требует долгого сравнения. Следует выбирать надежные, наиболее быстродействующие и современные извещатели. При этом стоит учитывать токовые показатели при сработке извещателя и возможность его подключения к аналоговым входам ПЛК. На отечественном рынке основными производителями пожарных извещателей являются компании ГК «Рубеж», ООО «КБ Прибор» и НПО «Сибирский Арсенал».

В результате анализа предложений на отечественном рынке были выбраны пожарные извещатели, характеристики которых сведены в таблицу 2.7. Следует отметить, что в качестве сигнализирующих пожарных извещателей (звуковых и световых) были выбраны зарубежные устройства, т.к. они надежно показывают себя в эксплуатации уже действующей в рассматриваемом производственном помещении АСПТ.


Таблица 2.7 – Характеристики пожарных извещателей

Наименование	Технические характеристики
Извещатель тепловой ИП 101-1А-А1 максимальный 	<ul style="list-style-type: none"> – Температура срабатывания: 54...65 °С; – Подключение: 2х проводное; – Питание: 9-30 В; – Особенности: дифференциальный; – Цена: 300 руб.

Продолжение таблицы 2.7

Наименование	Технические характеристики
<p>Извещатель дымовой оптико-электронный ИП-212-141</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Чувствительность: 0,05...2 дБ/м; – Подключение: 2х проводное; – Питание: 9-30 В; – Ток потребления в дежурном режиме не более: 0,4 мА; – Инерционность: не более 9 с; – Цена: 466,1 руб.
<p>Извещатель пожарный пламени Пульсар 1-010С</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Дальность обнаружения очага пламени площадью 0,1 м²: 30 м; – Угол обзора: 120°; – Питание: 9-28 В; – Ток потребления в дежурном режиме не более: 0,3 мА; – Подключение: 2х проводное; – Особенности: чувствительный элемент на поворотном устройстве; – Цена: 9849,6 руб.
<p>Извещатель пожарный ручной ИПР-535-1В</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Питание: 10-30 В; – Подключение: 2х проводное; – Ток потребления в дежурном режиме не более: 0,1 мА; – Цена: 14751 руб.
<p>Извещатель пожарный световой ВЕхВГ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Энергия вспышки: до 15 Дж; – Питание: 24 ±25% В; – Подключение: 2х проводное; – Номинальный ток: 300 мА; – Цена: 1536 руб.

Продолжение таблицы 2.7

Наименование	Технические характеристики
 <p>Извещатель пожарный звуковой ВС07-Е</p>	<ul style="list-style-type: none">– Звуковое давление на расстоянии $1\pm 0,05$ м, не менее: 100 дБ;– Тип звукового сигнала: сирена;– Питание: 12-28 В;– Подключение: 2х проводное;– Номинальный ток: 70 мА;– Цена: 13926 руб.

В качестве различных информационных указателей в системе используется световое табло: «Выход» марки БЛИК-С-24 со стандартным двухпроводным подключением и питанием 24 В постоянного тока.

Все устройства подобраны таким образом, что позволяет подключить их к ПЛК.

2.6.7 Выбор программируемого логического контроллера

Рассмотрим использующийся на производстве ПЭВД ПЛК производителя Siemens на примере центрального процессора Simatic S7-300 [49]. Данный контроллер предназначен для организации средних и малых систем автоматизации и имеет модульную конструкцию.

Основные технические характеристики «SIMATIC S7-300» приведены в таблице 2.8.

Безусловными плюсами данного микропроцессорного контроллера является его довольно высокая надежность, резервируемость, разнообразие модулей и возможность их оперативной замены, а также его распространенность и универсальность языков программирования. Однако в настоящее время приобрести данный ПЛК для компаний практически не представляется возможным, а цена решения для небольших производств является непозволительно высокой. Данные факты приводят к необходимости поиска отечественного решения.

Таблица 2.8 – Технические характеристики «SIMATIC S7-300»

Технические характеристики	Тип ПЛК: SIMATIC S7-300
Рабочая память, Кб	128
Время выполнения: логических операций,	0,06
операций с фиксированной точкой,	0,16
операций с плавающей точкой	0,59
Количество флагов/ таймеров/счетчиков, шт.	2048/256/256
Количество каналов вводов – вывода, дискретных/аналоговых, не более, шт.	16384/1024
Языки программирования	STEP 7 (LAD, FBD, STL), S7-SCL, S7-GRAPH
Напряжение питания, В	24

В настоящее время главными отечественными производителями ПЛК являются ООО «Овен», г. Москва, НПФ «КРУГ», г. Пенза и АО «ЭлеСи», г. Томск. В основном ПЛК отечественных производителей разработаны специально для определенных областей промышленности, тогда как контроллеры компании ЭлеСи предназначены для построения систем автоматизации малого и среднего масштаба во всех секторах промышленного производства.

Рассмотрим программируемый логический контроллер «ЭЛСИ-ТМК» [50]. Он имеет модульную архитектуру и позволяет расширять набор необходимых для построения системы модулей:

- модули питания TP;
- процессорные модули TC;
- модули дискретного ввода/вывода TD;
- модули счетных входов;
- модули аналогового ввода/вывода TA;
- коммуникационные модули TN.

Рассмотрим программируемый логический контроллер «ЭЛСИ-ТМ» [51]. Данный контроллер предназначен для систем малого и среднего масштаба. Благодаря модульной структуре возможно масштабирование

системы. Так как данный ПЛК поддерживает стандартные промышленные протоколы, возможна совместимость с большим рядом датчиков. Данный ПЛК имеет сертификаты об утверждении типа средств измерений, соответствия ГОСТ Р и разрешение на применение Федеральной службы по технологическому надзору.

Оба контроллера подходят для построения проектируемой системы, тогда выбор стоит сделать в пользу более экономически выгодного решения: ПЛК «ЭЛСИ-ТМ».

2.6.8 Выбор оборудования АРМ оператора

Для обеспечения надежной и стабильной работы дистанционной системы управления необходимо обеспечить минимальные системные требования к ПК операторов:

- процессор Intel Core i3 или выше;
- операционная система Windows 7 или Windows 10;
- оперативная память не менее 4 Гб;
- жесткий HDD-диск с частотой вращения шпинделя 7200 оборотов в минуту или SSD-диск объемом 500 Гб;
- сетевой адаптер Ethernet;
- монитор с разрешением 1366×768 пикселей или выше;
- клавиатура и мышь;
- принтер.

Таким образом, на основании упомянутых выше требований было выбрано необходимое оборудование, технические характеристики которого представлены в таблице 2.9.

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации системы управления импульсным пожаротушения производственного помещения представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.022 СО1.

Таблица 2.9 – Технические характеристики оборудования

Оборудование	Характеристика
Системный блок Dell Precision T3600	Процессор Core i3 9350KF; оперативная память 4 Гб; поддержка Wi-Fi, Ethernet LAN
Монитор Dell E2422HN	Диагональ 23,8"; максимальное разрешение 1920x1080 пикселей; IPS-матрица
Принтер HP LaserJet 108a	Лазерная технология печати; черно-белая цветность печати; разрешение печати: 1200x1200 dpi
Клавиатура	Мембранная клавиши; наличие цифрового блока
Мышь	Беспроводная; оптический светодиодный сенсор; максимальное разрешение датчика 1200 dpi

2.7 Разработка электрической схемы соединений щита пожаротушения

Схема принципиальная электрическая щита управления представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.022 Э4.

Ввод питания в щит пожаротушения осуществляется через клеммную сборку ХТ1. Для защиты от перенапряжения предусмотрено устройство Z01. Для удобства работы инженера АСУ ТП в щите установлена розетка XS1, а также устройство подсветки VD1. Параметры микроклимата поддерживаются вентилятором M1 и термореле КК1. Источник бесперебойного питания G1 в комплекте с блоком батарей G2 обеспечивает питание устройств внутри щита, а также преобразует напряжение сети переменного тока 220 В в постоянное напряжение 24 В.

Для обеспечения требований по электропитанию, емкость источников резервированного питания должна быть такой, чтобы обеспечить работу системы в дежурном режиме в течении 24 часов и 1 час в режиме «Тревога». Емкость аккумуляторов рассчитывается по следующей формуле:

$$C = (L_1 \cdot T_1 + L_2 \cdot T_2) \cdot 1,25, \text{ где} \quad (1)$$

C – требуемая емкость АКБ, Ач;

L_1 – ток потребления в дежурном режиме, А;

L_2 – ток потребления в тревожном режиме, А;

$T_1 = 24$, время работы в дежурном режиме, ч;

$T_2 = 1$, время работы в тревожном режиме, ч;

1,25 – коэффициент старения АКБ.

Расчета источника питания приведен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Расчет источника питания

№	Устройство	Кол-во, шт.	Ток потребления в дежурном режиме, мА	Ток потребления в тревожном режиме, мА	Общий ток потребления в дежурном режиме, мА	Общий ток потребления в тревожном режиме, мА
1	ИП 212-141	16	0,045	4	0,72	64
2	ИП 101-1А-А1	8	0,06	5	0,48	40
3	Пульсар 1-010С	3	0,3	25	0,9	75
4	ИПР-535-1В	2	0,1	25	0,2	50
5	ВExBG	4	40	300	160	1200
6	BC07-E	4	10	70	40	280
7	ТСМУ-205	6	33	33	198	198
8	АИР-10	1	25	25	25	25
9	ЭЛЕМЕР-РЭМ	1	125	125	125	125
10	MicroТРЕК	1	40	40	40	40
11	СК-12	10	0	750	0	7500
12	ЭЛСИ-ТМ в составе	1	2500	4580	2500	4580
Итого общий ток потребления, А:					3,1	14,177
Итого номинальный выходной ток источника питания, А					15	
Итого расчетная емкость АКБ, Ач:					74,4	14,2
Итого расчетная емкость АКБ, Ач:					88,6	
Итого номинальная емкость АКБ источника питания, Ач:					90	

В качестве источника бесперебойного питания для G2 выберем резервированный источник вторичного электропитания выберем SKAT ИБП-24/18-RACK с номинальной емкостью АКБ 100 Ач. К нему добавим батарейный блок SKAT BC 24/18 RACK на 18 Ач.

Выключатели QF1, QF2, QF3 и QF4 предназначены для прекращения подачи напряжения на источники бесперебойного питания, розетку и вентилятор соответственно.

ПЛК состоит из модуля питания, центрального процессора, пар модулей аналогового ввода, модулей дискретного ввода и вывода. Для реализации проверки целостности цепи в щите предусмотрено устройство защиты аналоговых сигналов BZ16-24DC-P, которое обеспечивают гальваническую развязку цепей контроллера и полевых цепей.

Для преобразования и гальванического разделения входных дискретных сигналов используется блок BC-117-12/24. Ввод и вывод сигналов в щит и из него осуществляется через клеммные сборки ХТ-А11, ХТ-DO1, ХТ-А12, ХТ-А13, ХТS.

На двери щита пожаротушения реализованы лампочки для световой световая и кнопки управления.

Для принципиальной схемы отдельным документом разрабатывается перечень элементов схемы. На ФЮРА.421000.022 ПЭ4 приведен такой перечень в виде таблицы, содержащей позиционное обозначение элемента на электрической схеме, наименование и техническую характеристику элементов, а также их количество.

2.8 Проектирование схемы внешних проводок

Схемы внешних электрических и трубных проводок являются основными проектными документами, по которым выполняют их монтаж, подключение проводок к средствам измерения, автоматизации и технологическому оборудованию [52, с. 218]. Схемы соединений и подключения выполняют согласно ГОСТ [53].

Для разрабатываемой АСУИПТ схема соединений внешних проводок представлена на 4 листах с шифром ФЮРА.421000.022 С5.

На схеме упрощенно изображены составные элементы монтажной схемы: измерительные преобразователи, пожарные извещатели, щит пожаротушения. Данные элементы изображают прямоугольниками, размер которых следует принимать исходя из размещаемой в них информации. Внутри прямоугольника указано наименование устройства и необходимые для подключения клеммы.

С целью отвода опасных для человеческого организма токов для щита управления и панели визуализации следует обеспечить магистраль зануления объектов.

Все представленные на схемах соединений и подключения провода и жилы кабелей промаркированы в соответствии с ранее разработанной электрической схемой и указаниями, приведенными в ГОСТ 2.702-2011 [54]. Список всех использованных в разработанной схеме кабелей приведен в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Список использованных в монтажной схеме кабелей

Наименование кабеля	Источник для заказа
КВВГ 2×0,75	[55]
КРВГ 4×1, КРВГ 5×1	[56]
ВВГнг(А)-LS-3×1,5	[57]
КВВГнг 12×0,75	[58]
КПСЭнг(А)-FRLS 2×0,75	[59]

При монтаже кабельной продукции следует оставлять запас кабеля для непредвиденных нужд.

2.9 Разработка сборочного чертежа и спецификации щита пожаротушения

Сборочный чертеж щита пожаротушения для проектируемой АСУИПТ представлен на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.022 СБ. Спецификация элементов щита пожаротушения приведена на отдельных листах с шифром ФЮРА.421000.022 СП.

Исходя из объема технических средств и их количества, выбран щит ЩМП-7-0 36 УХЛЗ IP31 IEK [60], который поставляется с монтажной панелью размером 1250x690 мм. Выбор шкафа данной фирмы обусловлен практичностью, распространенностью данных шкафов на предприятии, а также качеством их исполнения.

При компоновке в верхней части шкафа автоматизации размещаем контроллер «ЭЛСИ-ТМК» для удобства и безопасности его использования. В нижней части шкафа располагаем клеммы для ввода сигналов по линиям связи с технологического объекта. В средней части – остальное оборудование.

Все основное оборудование, помимо контроллера и источника бесперебойного питания с блоком батарей, крепится на стандартную DIN-рейку шириной 35 мм. Контроллер и ИБП монтируется на шасси, которое прикручивается к монтажной панели. Провода располагаются в закрытых коробах шириной 25 мм. Особые требования предъявляются к креплению источника питания: расстояние слева и справа от оборудования не менее 5 мм, сверху и снизу – 30 мм.

2.10 Наполнение системы информационным, математическим и программным обеспечением

Разрабатываемую систему следует проектировать на базе операционной системы Windows. Это объясняется ее следующими преимуществами:

- простота и удобство в использовании. Каждый оператор знаком с данной системой даже на бытовом уровне. Это позволяет уменьшить или исключить затраты времени на обучение взаимодействия с рабочей средой;
- открытость. ОС Windows может быть установлена на максимальное число типов производимых компьютеров;
- аппаратная и программная совместимость. Подавляющее большинство программных продуктов имеют совместимость с данной ОС. Также не составляет труда обнаружить и подключить новое устройство, интерфейс к ПК;
- многозадачность. Windows позволяет одновременно работать с несколькими программами без прерывания другой;
- защищенность. При сбое отдельной прикладной программы высока вероятность сохранения работоспособности других.
- относительно небольшая стоимость ОС.

При помощи среды разработки Microsoft Visual Studio на базе языка программирования C# было создано приложение «Тушение_DemoV» в виде отдельной экранной формы Windows. Данное приложение позволяет рассчитать параметры непрерывного и импульсного тушения (коэффициент эффективности тушения K_{ef} , плотность орошения Ψ (л/м²) и время прекращения тления применительно к модельному очагу) по заданным типам горючих материалов. При этом реализована функция вывода рекомендаций по выбору метода тушения.

Первым этапом в верхней части программы необходимо задать типы горючих материалов. При этом можно выбрать от одного до трех материалов одновременно. В качестве материалов учтены древесина, линолеум и пластик. Программа исключает повторный выбор материала в других ячейках.

В средней части программы слева из выпадающего списка можно выбрать непрерывный или импульсный способы тушения.

После выбора вышеперечисленных исходных данных необходимо нажать кнопку «Принять», после чего программа произведет расчет показателей тушения и выведет в нижней части программы рекомендации по тушению заданного очага. Также в рекомендациях отобразятся показатели тушения для выбранного на данный момент способа тушения.

Стоит отметить, что до тех пор, пока отсутствует хотя бы один выбранный тип горючего материала или не указан вид тушения, нажатие кнопки «Принять» не приведет к каким-либо вычислениям.

Кнопка «Выйти» функциональна и позволяет закрыть окно программы.

Кнопка «Отменить» функциональна и позволяет стереть все данные, отображаемые в программе.

На рисунке 2.2 представлено рабочее окно программы при запуске.

Пусть модельный очаг состоит из древесины и выбран непрерывный способ тушения. Нажмем кнопку «Принять». Тогда окно программы будет выглядеть как показано на рисунке 2.3.

Тушение_DemoV

Тип горючего материала 1	Тип горючего материала 2	Тип горючего материала 3
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Выберите вид тушения: <input type="text"/>		Расчет показателей: $K_{ef} =$ <input type="text"/> $\Psi =$ <input type="text"/> $td' =$ <input type="text"/>
<u>Рекомендации:</u>		
<input type="button" value="Выйти"/> <input type="button" value="Принять"/> <input type="button" value="Отменить"/>		

Рисунок 2.2 – Рабочее окно программы при запуске

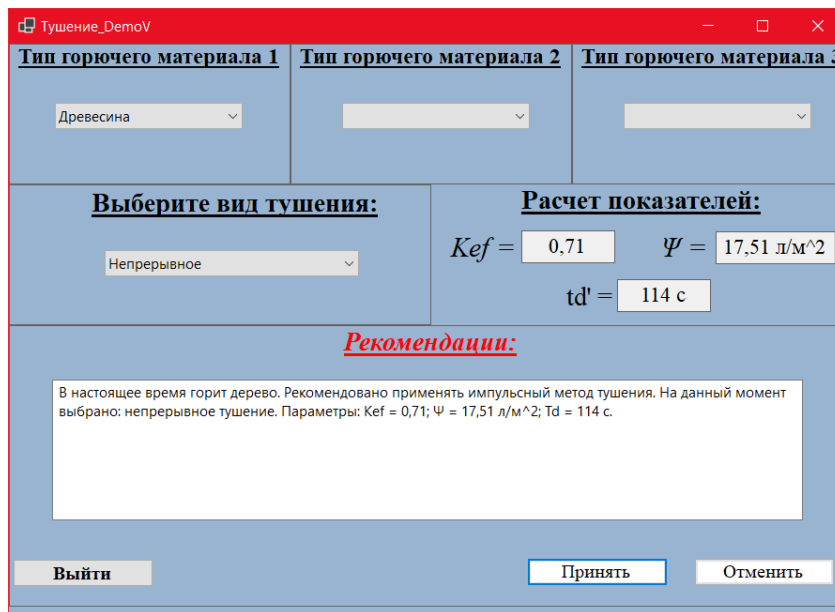


Рисунок 2.3 – Рабочее окно программы при модельном очаге из древесины при непрерывном тушении

Нажмем кнопку «Отменить» для очистки экрана. Пусть модельный очаг состоит из древесины, линолеума и пластика и выбран импульсный способ тушения. Нажмем кнопку «Принять». Тогда окно программы будет выглядеть как показано на рисунке 2.4.

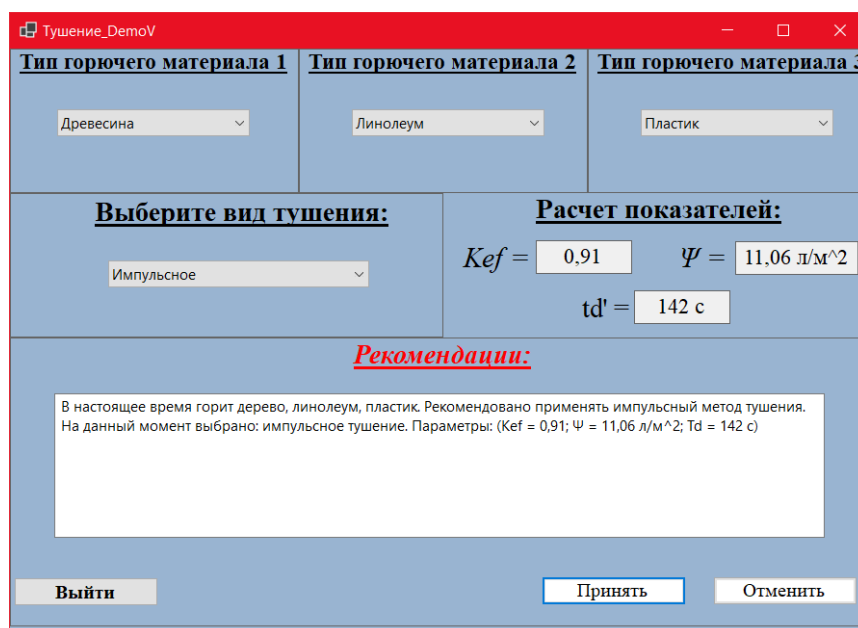


Рисунок 2.4 – Рабочее окно программы при модельном очаге из древесины, линолеума и пластика при импульсном тушении

Листинг данной программы приведен в приложении А.

Для визуализации процесса пожаротушения используется отечественное решение в области SCADA-систем: программный пакет «Simple-Scada». Выбор данного ПО объясняется современностью, удобством и простотой инструментов создания мнемосхем, хорошей совместимостью с отечественными ПЛК, а также более дешевой ценой относительно распространенных иностранных аналогов.

Для защиты от вредоносного и стороннего ПО необходимо предусмотреть наличие межсетевого экрана (англ. Firewall), который позволит контролировать трафик, поступающий на ПК и в зависимости от заданных настроек пропускать или отбрасывать его. Тогда при необходимости добавления нового программного продукта инженеру АСУ ТП или другому человеку с ролью администратора будет достаточно внести соответствующие настройки.

2.11 Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы

При помощи отечественного программного пакета «Simple-Scada» разработана и оформлена мнемосхема и экранные формы АСУИПТ рассматриваемого производственного помещения. Мнемосхема в демонстрационном состоянии показана на рисунке 2.5.

На рисунке 2.5 мнемосхема состоит из следующих составных элементов:

- контура производственного помещения, условно разделенного на 8 зон;
- определенного для каждой зоны набора пожарных извещателей: дымовых, тепловых, ручных и пламени;
- противопожарного резервуара с водой РГС1 с индикацией уровня;
- индикаторов для соответствующих датчиков температуры, расхода и уровня;

- технологического оборудования ОНД А-402;
- окна диагностики АСУИПТ с отображением состояния и режима работы системы.

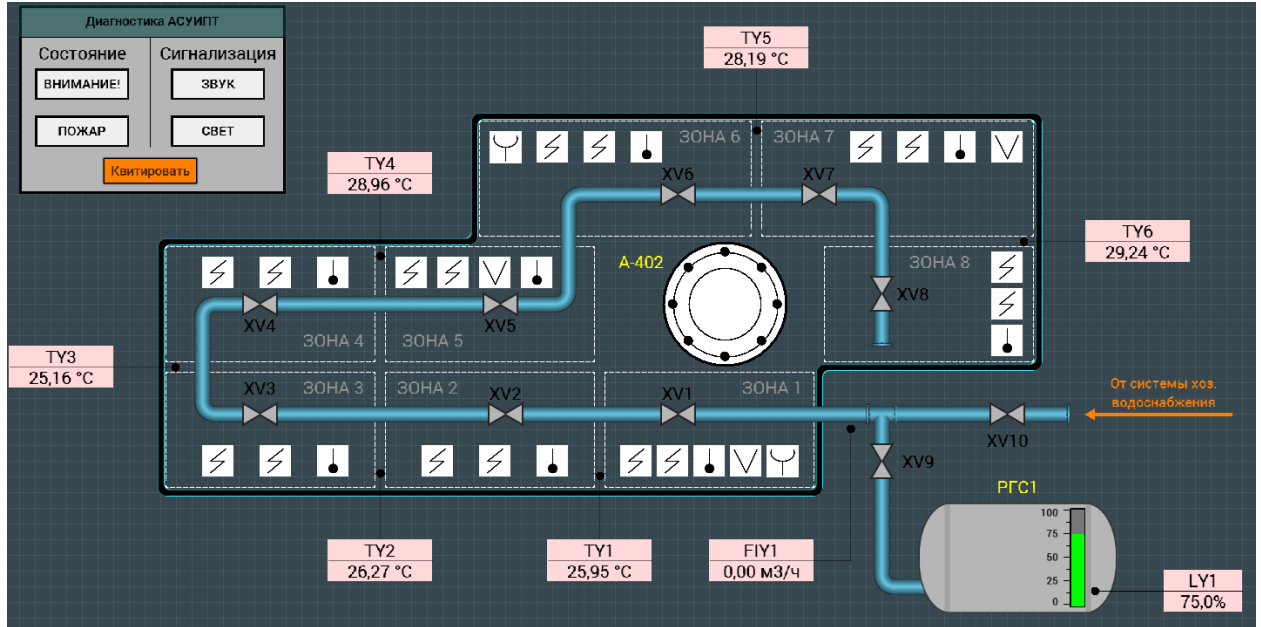
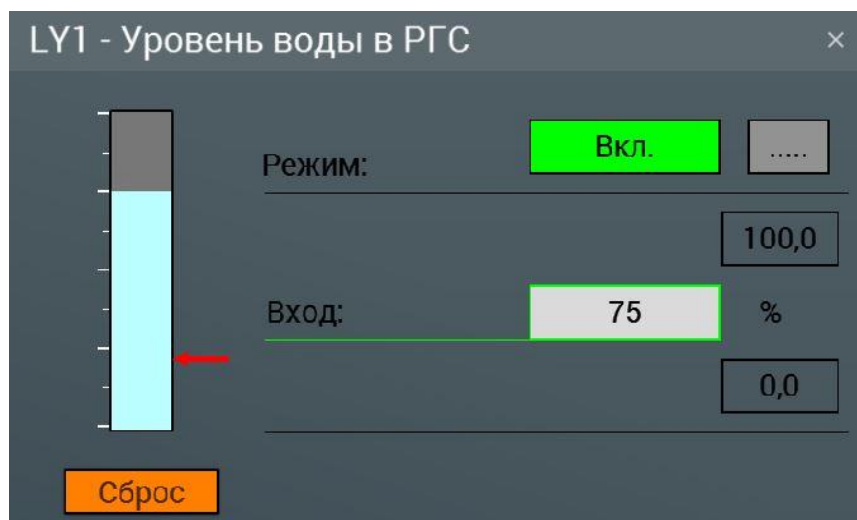


Рисунок 2.5 – Демонстрация мнемосхемы АСУИПТ в нормальном состоянии

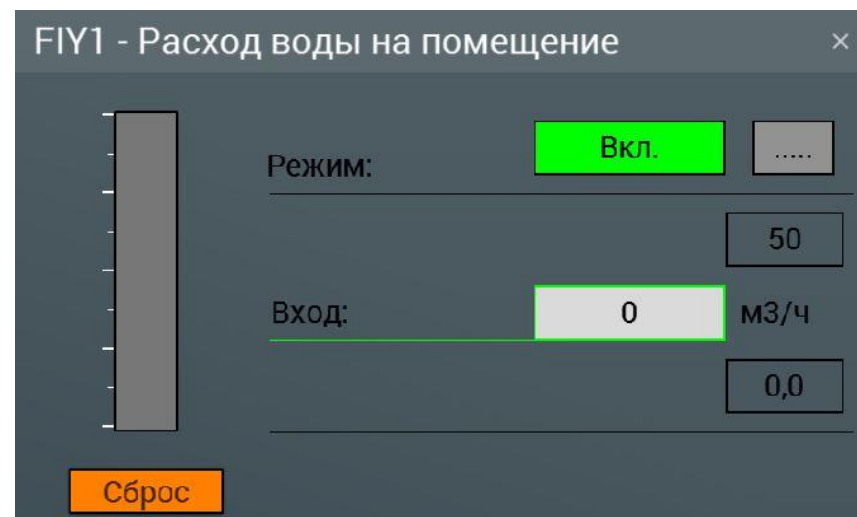
Для всех индикаторов значений, полученных от измерительных преобразователей разработаны отдельные экранные формы, пример которых представлен на рисунке 2.6. Здесь реализована возможность отслеживания уровня физической величины по шкале, просматривать режим работы датчика, а также квитировать активную ошибку.



а)



б)



в)

Рисунок 2.6 – Примеры экранных форм измерительных преобразователей: а) температуры; б) уровня; в) расхода

Экранная форма, представленная на рисунке 2.7 демонстрирует окна управления соленоидными клапанами XV1-XV8 на примере одного из них. В режиме «Пожар» оператор имеет возможность управлять данными исполнительными механизмами.

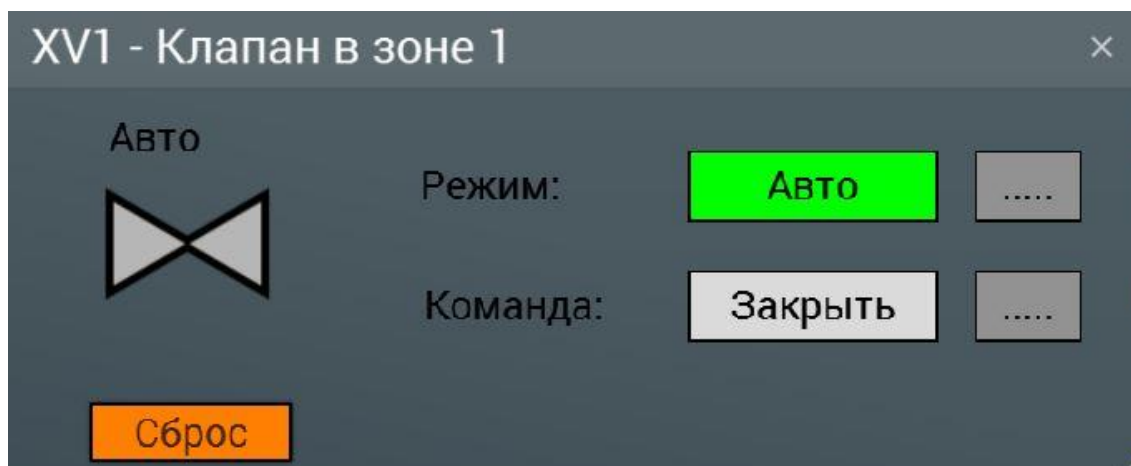
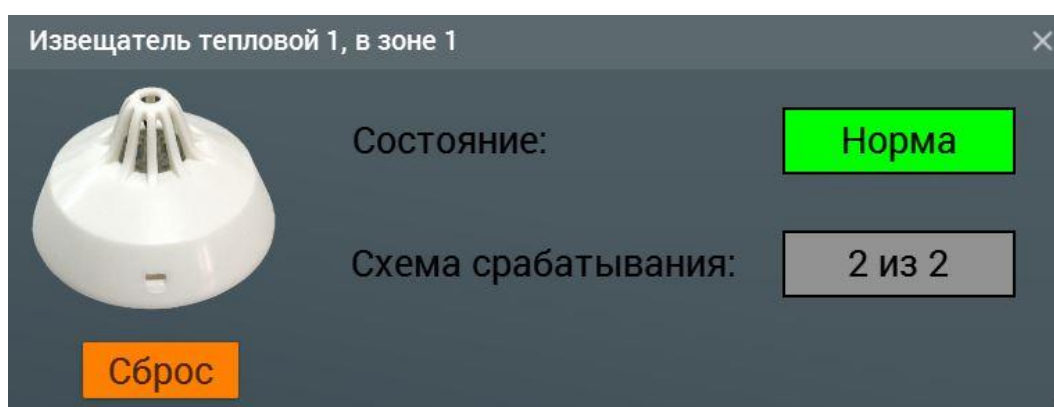
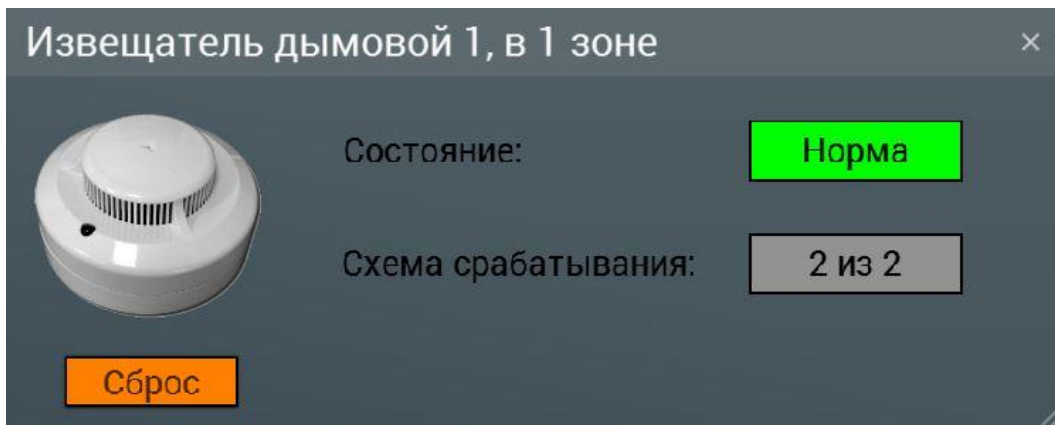


Рисунок 2.7 – Пример экранной формы соленоидного клапана

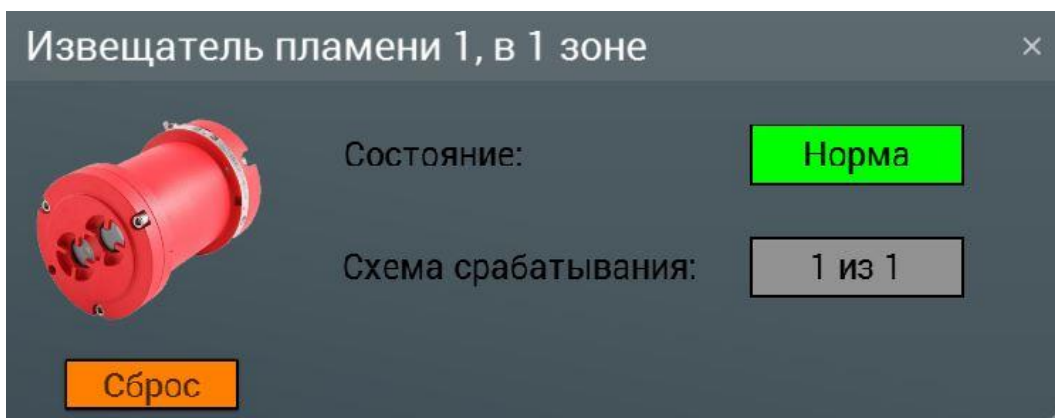
Иконки пожарных извещателей также являются активными и по клику мыши открывают их обзорное окно с изображением извещателя, его состоянием и схемой срабатывания. Пример экранных форм каждого из извещателей демонстрирует рисунок 2.8.



а)



б)



в)

Рисунок 2.8 – Примеры экранных форм пожарных извещателей: а) теплового; б) дымового; в) пламени

Система пожаротушения начинает свою работу в следующих случаях:

- 1 при срабатывании двух пожарных дымовых извещателей;
- 2 в случае срабатывания одного дымового и теплового извещателей;
- 3 в случае срабатывания пожарного извещателя пламени и подтверждении включения АСУИПТ с АРМ оператора (начальника смены);
- 5 при повышении температуры на термопаре выше 55 °С и подтверждении включения АСУИПТ с АРМ оператора (начальника смены);
- 6 в случае активации системы пожаротушения по месту с ручного пожарного извещателя;
- 7 при нажатии кнопки «Пуск» на щите пожаротушения.

Рассмотрим первый случай. Пусть в зоне 2, где находится стол с письменными принадлежностями аппаратчика сработало два дымовых пожарных извещателя, тогда по схеме 2 из 2 в данной зоне срабатывает автоматическая система импульсного пожаротушения. Состояние мнемосхемы в таком случае показано на рисунке 2.9. Здесь видно, что сработавшие извещатели загораются красным цветом, а система выдает мигающее сообщение «ВНИМАНИЕ! ПОЖАР В ЗОНЕ 2!». При этом в окне диагностики состояние «Внимание!» остается активным, т.е. светится желтым цветом, а также включается состояние «Пожар»: светится красным цветом. В разделе «Сигнализация» таблички «Звук» и «Свет» светятся желтым цветом, что указывает на активность звуковых и световых извещателей, а также табло по месту. Клапан XV2 – открыт, поэтому он горит зеленым цветом. Буква «А» указывает на его работу в автоматическом режиме. Пусть система берет воду из РГС1, тогда клапан XV9 тоже открыт.

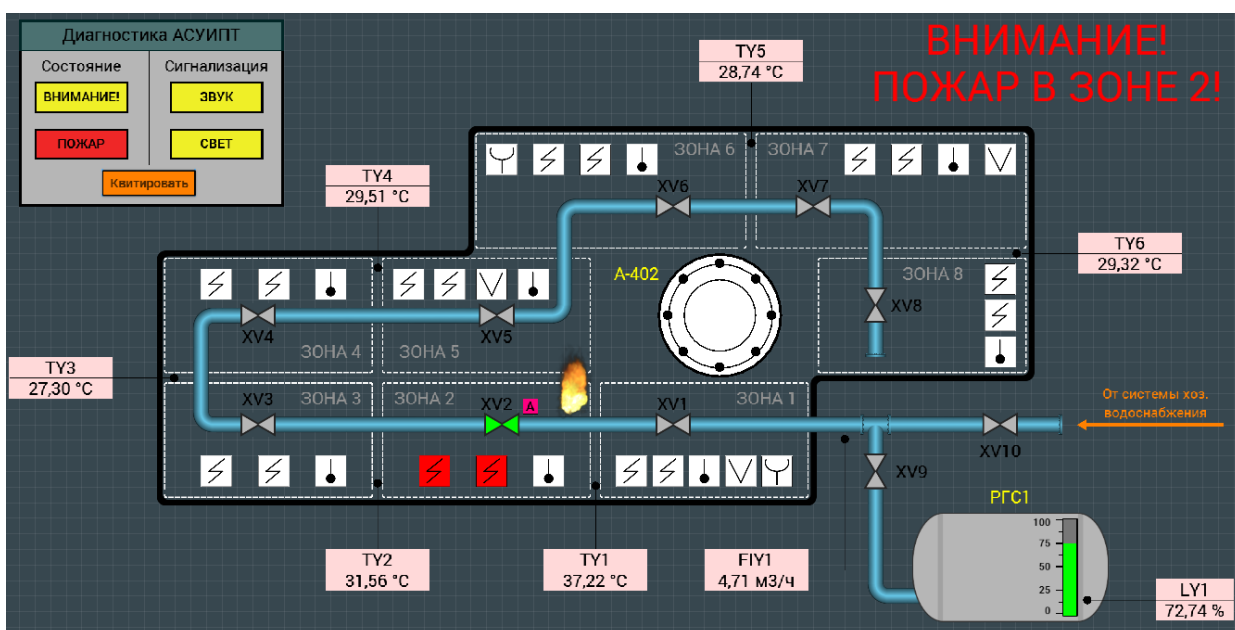


Рисунок 2.9 – Демонстрация мнемосхемы АСУИПТ в рабочем состоянии

При нажатии кнопки «Квитировать» в окне диагностики АСУИПТ оператор подтверждает все сообщения о начале работы системы, а также

сбрасывает все сообщения после пожаротушения для приведения системы в нормальное состояние.

Следует отметить, что при более глубокой проработке SCADA-системы, увеличения количества защищаемых помещений, реализации системы управления базами данных, а также заведения реальных сигналов и переменных необходимо реализовать ведение отчетов, базу данных для хранения исторических данных, журнал оператора, а также систему трендов.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Чванову Сергею Вадимовичу

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

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

1. Стоимость ресурсов технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Оклады в соответствии с окладами сотрудников ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент доплат и надбавок -0,2; - накладные расходы – 16%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды - 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала НТИ	Определение потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений; проведение FAST-анализа
2. Разработка устава научно-технического проекта	Формирование плана и графика разработки: - определение трудоемкости работ; -определение структуры работ; -разработка графика проведения работ. Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение эффективности проекта (оценка результатов)

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка
2. Функционально-стоимостная диаграмма
3. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Чванов Сергей Вадимович		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках настоящей магистерской диссертации разрабатывается автоматизированная система управления импульсным пожаротушением производственного помещения. В качестве объекта автоматизации выбрано реальное производственное помещение технического назначения, рассматриваемое на базе корпуса 421/1 предприятия ООО «Томскнефтехим», г. Томск. Внедрение данной АСУИПТ позволит своевременно и безошибочно обнаруживать пожар, эффективно его локализовывать и производить тушение путем импульсного распыления воды, что позволит повысить эффективность процесса пожаротушения, снизить водопотребление и минимизировать ущерб технологическому оборудованию.

Цель работы заключается в расчете экономической эффективности научно-исследовательской работы по разработке, внедрения и использования АСУИПТ производственного помещения. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующий перечень задач:

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

В рамках данного проекта разрабатываемая система должна соответствовать высоким показателям ресурсоэффективности по основным критериям: безопасность, надежность, удобство эксплуатации, помехоустойчивость, энерго и водосбережение). Максимальный бюджет проекта не должен превышать 800000 рублей.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Определение потенциальных потребителей разрабатываемого в данной работе решения поможет выявить востребованность и успешность проекта в будущем. По этой причине необходимо обозначить целевой рынок и осуществить сегментирование рынка, чтобы понять, кто может стать потребителями результатов исследования.

К потенциальным потребителям можно отнести практически все компании, осуществляющие производственную деятельность начиная пищевой промышленностью и заканчивая крупными предприятиями энергетической, металлургической, нефтехимической и машиностроительной отраслей. Это объясняется тем, что системы пожаротушения служат для обеспечения экологической и промышленной безопасности, обеспечения сохранения человеческих жизней и являются необходимыми и востребованными повсеместно. Также явными преимуществами разрабатываемого решения являются универсальность и масштабируемость. Так как в качестве объекта автоматизации в данной работе выбрано производственное помещение, относящееся к предприятию ООО «Томскнефтехим», то примером потенциального потребителя решения могут являться все предприятия одной из крупнейших в России интегрированных нефтегазохимических компаний ПАО «СИБУР Холдинг». Также потребителями могут являться такие компании как: ООО «Марс», ПАО «Северсталь», АО «Томская генерация», ООО «Монолит-Строй» и др.

В качестве сегментирования рынка для коммерческих организаций могут использоваться: объем производства, состояние и тип действующих систем пожаротушения и автоматизации, месторасположение, отрасль и т.д. В качестве критериев сегментирования рынка по разработке автоматизированных систем выберем два наиболее важных: размер компании-заказчика и ожидаемый эффект от внедрения. Построим карту сегментирования рынка (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка

		Ожидаемый эффект от внедрения АСУИПТ			
		Снижение расхода воды на тушение	Автоматизация системы пожаротушения	Улучшение надежности системы пожаротушения	Обеспечение пожарной безопасности
Размер компании-заказчика	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Из таблицы 3.1 видно, какие по размеру компании могут быть заинтересованы во внедрении разрабатываемой АСУИПТ для достижения определенных целей от системы пожаротушения. Именно на обозначенные области и необходимо направить ресурсы и усилия при разработке автоматизированной системы.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Разработка и проектирование любой автоматизированной системы предполагает, кроме составления проекта, анализ конкурентных технических решений. В общем смысле предлагаемые варианты автоматизированных систем пожаротушения разных производителей преследуют одну основную цель: повышение пожарной безопасности и управление процессом пожаротушения, но по техническим и экономическим критериям они будут различаться. Каждый производитель придерживается своих (наиболее важных) требований при разработке АСПТ. Так, например, некоторые производители акцентируют внимание на улучшении параметров безопасности и надежности, другие внедряют новейшие решения в области автоматизации, определенный круг производителей нацелен на предоставление дешевых решений. Примерами конкурирующих производителей автоматизированных систем пожаротушения являются итальянская компания, действующая в России «EUSEBI» (индекс «к1», см. таблицу 3.2),

ЗАО «ПО «Спецавтоматика» (индекс «к2», см. таблицу 3.2) и ГК «Пожтехника» (индекс «к3», см. таблицу 3.2).

В ходе проведения анализа конкурентоспособности технических решений важным является выделение критериев оценки автоматизированных систем пожаротушения (сильные и слабые стороны). Данный анализ производится с помощью оценочной карты (таблица 3.2). Точка зрения конкурентов и внедряемого решения оценивается по пятибальной шкале по каждому из показателей: от 1 – наиболее слабая позиция до 5 – наиболее сильная позиция. Веса показателей в сумме составляют 1.

Конкурентоспособность научной разработки рассчитывается с использованием следующей формулы:

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

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

В таблице 3.2 представлены результаты анализа конкурентных технических решений.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		B_ϕ	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$B_{к3}$	K_ϕ	$K_{к1}$	$K_{к2}$	$K_{к3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Надежность	0,2	5	4	4	4	1	0,8	0,8	0,8
2. Безопасность	0,2	5	5	5	5	1	1	1	1
3. Простота эксплуатации	0,1	5	3	4	4	0,5	0,3	0,4	0,4

Продолжение таблицы 3.2

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Стоимость	0,2	5	2	3	4	1	0,4	0,6	0,8
2. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	3	3	0,5	0,4	0,3	0,3
3. Срок выхода на рынок	0,1	1	5	5	3	0,1	0,5	0,5	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	4	4	0,5	0,4	0,4	0,4
Итого	1					4,6	3,8	4	4

Анализ конкурентных технических решений показывает, что наиболее перспективным по техническим и экономическим критериям является реализация собственного варианта автоматизированной системы. Благодаря анализу полученных данных можно увидеть соответствие слабых и сильных сторон различных производителей. Такой анализ необходимо осуществлять постоянно, поскольку в условиях рыночной экономики все процессы находятся в постоянном движении. Помимо этого, такой анализ помогает вносить изменения в собственные научные исследования для того, чтобы обеспечить конкурентоспособность своего продукта на рынке.

Также стоит отметить, что разрабатываемая система основана на управлении импульсным пожаротушением, что представляет собой новизну, тогда как решения конкурентов являются консервативными и не предусматривают некоторые функции, внедряемые настоящим проектом.

3.3 FAST-анализ

FAST-анализ – это один из наиболее простых и распространенных инструментов анализа и классификаций функций. Данный метод основан на

том, что затраты, связанные с созданием и использованием объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных на производстве функций. Далее будут описаны 6 стадий, которые включает в себя FAST-анализ.

3.3.1 Выбор объекта FAST-анализа

В качестве объекта FAST-анализа в настоящей работе выступает АСУИПТ производственного помещения. Внедрение данной АСУИПТ позволит своевременно и безошибочно обнаруживать пожар, эффективно его локализовывать и производить тушение путем импульсного распыления воды, что позволит повысить эффективность процесса пожаротушения, снизить водопотребление и минимизировать ущерб технологическому оборудованию.

3.3.2 Описание функций объекта

В данном разделе осуществляется анализ объекта с позиции функционального устройства. Определяются функции объекта (главные, основные, вспомогательные). Главная функция объекта – внешняя функция, определяющая сущность, назначение и главную цель создания объекта. Основные и вспомогательные функции отражают внутренние функции исследуемого объекта. В таблице 3.3 представлена классификация функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 3.3 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование	Выполняемые функции	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательная
1. Автоматизированная система	Обеспечивает эффективное, удобное управление объектом	+		
2. Система пожаротушения	За счет специальных устройств обеспечивает импульсное тушение пожара	+		
3. Программные средства	Организует программную среду для выполнения задач АСУ		+	
4. Аппаратные средства	Реализует работу АСУ, функционирование ПО		+	
5. Персонал	Мониторинг параметров и ручное управление		+	
6. SCADA-система	Визуализация процесса пожаротушения и состояния системы, подготовка отчетов			+
7. Организационные мероприятия	Реализует внедрение системы, а также контроль протекания процесса			+

3.3.3 Определение значимости выполняемых объектом функций

Для оценки значимости функций следует пользоваться методом расстановки приоритетов. Суть данного метода состоит в расчетно-экспертном определении значимости каждой функции.

На начальном этапе составляется матрица смежности функций (таблица 3.4). Функции определены согласно таблице 3.3 в порядке перечисления.

Таблица 3.4 – Матрица смежности функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	Функция 7
Функция 1	=	=	>	>	>	>	>
Функция 2	=	=	>	>	>	>	>
Функция 3	<	<	=	=	=	>	>
Функция 4	<	<	=	=	=	>	>
Функция 5	<	<	=	=	=	>	>
Функция 6	<	<	<	<	<	=	>
Функция 7	<	<	<	<	<	<	=

Преобразуем матрицу смежности (таблица 3.4) в матрицу количественных соотношений функций (таблица 3.5). Буква Ф в таблице имеет расшифровку «функция», а цифра рядом ее номер.

Таблица 3.5 – Матрица количественных соотношений функций

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Итого
Ф1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	9,5
Ф2	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	9,5
Ф3	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	7
Ф4	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	7
Ф5	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	7
Ф6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	5
Ф7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	4
Сумма								49

Далее определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой из функций, на общую сумму баллов по всем функциям. Результаты приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Относительная значимость функций

Функция	Относительная значимость
1. Автоматизированная система	0,19
2. Система пожаротушения	0,19
3. Программные средства	0,14
4. Аппаратные средства	0,14
5. Персонал	0,14
6. SCADA-система	0,1
7. Организационные мероприятия	0,08

3.3.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Следующим шагом необходимо определить уровень затрат на выполнение каждой функции с использованием нормативного метода. Соответствующие расчеты функций приведены в таблице 3.7. Данная информация приведена с учетом средних затрат на выполнение функций.

Таблица 3.7 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Функция	Стоимость оборудования, тыс. руб.	Заработная плата, тыс. руб.	Себестоимость, тыс. руб.
Ф1	200	125	325
Ф2	175	100	275
Ф3	250	-	250
Ф4	200	-	200

Продолжение таблицы 3.7

Функция	Стоимость оборудования, тыс. руб.	Заработная плата, тыс. руб.	Себестоимость, тыс. руб.
Ф5	50	150	200
Ф6	70	100	170
Ф7	30	40	70
Итого	975	515	1490

3.3.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Вышеполученную информацию следует обобщить в виде функционально-стоимостной диаграммы (рисунок 3.1). Построенная диаграмма позволит выявить диспропорции между важностью функций и затратами на них.

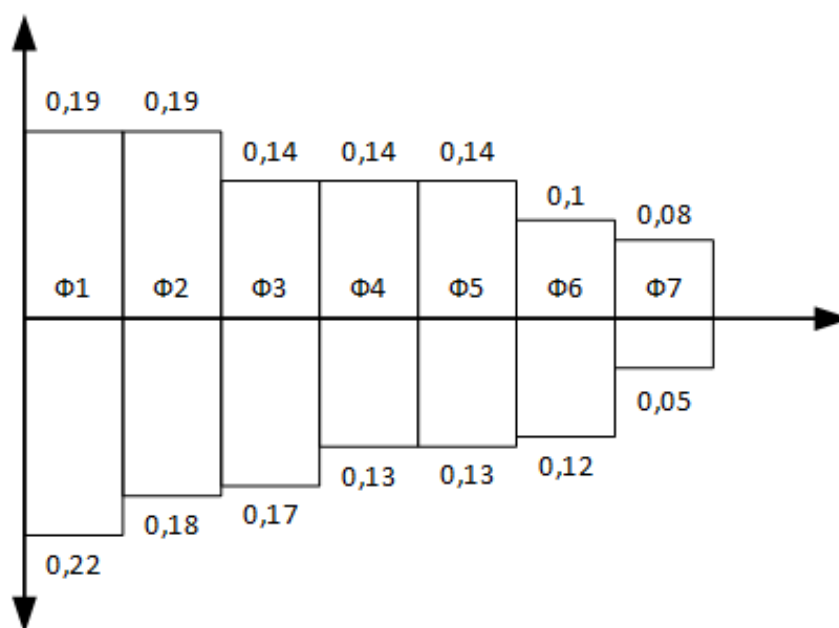


Рисунок 3.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализируя полученную диаграмму, можно сделать вывод, что явного рассогласования между затратами и значимостью каждой функции не

обнаружено, следовательно, проведение работ по ликвидации диспропорций не требуется.

3.3.6 Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве действий по оптимизации функций, выполняемых объектом, можно выполнить следующие: оптимизировать параметры надежности и безопасности, использовать новое оборудование и устройства в АСПТ, зарекомендовавшее себя в данной области для улучшения ее параметров; минимизировать ошибки персонала путем использования микропроцессорных устройств и совершенствовании мнемосхем АСУИПТ в SCADA.

3.4 Планирование научно-исследовательской работы

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

Группа для выполнения научно-исследовательских работ по данному решению формируется из научного руководителя проекта, руководителя от предприятия и студента, выступающего в роли инженера. В таблице 3.8 представлен перечень работ и планируемые сроки их выполнения.

Таблица 3.8 – Перечень работ и планируемая продолжительность их выполнения

Наименование работ	Исполнители (должность)	Продолжительность по плану, дней
Составление технического задания проекта	Научный руководитель	2
	Инженер	3
Календарное планирование работ	Научный руководитель	3
	Инженер	3
	Руководитель от предприятия	1

Продолжение таблицы 3.8

Наименование работ	Исполнители (должность)	Продолжительность по плану, дней
Обзор научной литературы по тематике	Научный руководитель	1
Подготовка презентации полученного решения	Инженер	5
Планирование, проведение и обработка экспериментальных исследований Выбор и анализ объекта автоматизации	Научный руководитель	5
	Инженер	30
	Руководитель от предприятия	1
Итого Проектирование АСУИПТ	Инженер	5
	Научный руководитель	3
	Инженер	15
Разработка проектно-конструкторской документации	Инженер	20
Написание дополнительных разделов ВКР	Инженер	10
Формирование итогового версии ВКР	Инженер	5

Из составленной таблицы следует, что проект содержит 11 этапов, большая часть из которых выполняется инженером. Руководитель от предприятия выполняет координационную функцию, проверяет достоверность информации и дает свои рекомендации. Научный руководитель проводит консультации практически на всех этапах работы, контролирует их выполнение, оказывает помощь в проведении экспериментальных исследований.

3.4.1 Разработка графика проведения научного исследования

Для сравнения небольших по объему научных работ наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Ленточный график проведения работ представлен в таблице 3.9. В графике учтены праздничные и выходные дни.

Из таблицы видно, что приблизительная продолжительность всех запланированных работ составит около 18 недель. Начало разработки проекта намечено на вторую неделю февраля, а окончание на третью неделю июня.

Необходимо отметить, что действительная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятных обстоятельствах), так и больше расчетных значений ввиду того, что трудоемкость носит вероятностный характер.

Таблица 3.9 – Ленточный график проведения работ

№ этапа	Продолжительность выполнения работ																			
	Февраль				Март				Апрель				Май				Июнь			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1		■	■																	
2			■	■																
3				■	■															
4					■	■	■	■	■	■	■	■								
5									■	■										
6										■	■	■	■							
7											■	■	■	■	■					
8														■	■					
9																■	■			
10																	■	■		
11																		■	■	■

И – Инженер – ■

НР – Научный руководитель – ■

ПР – Руководитель от предприятия – ■

3.5 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета проекта необходимо учесть все виды расходов, которые связаны с его выполнением.

Необходимо оговориться, что в рамках настоящей работы этапы изготовления и последующей эксплуатации системы не запланированы, однако, затраты этапа научно-исследовательской работы стоит учесть.

Для формирования бюджета проекта используется следующая группа затрат:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей исследования;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на материалы, расходуемые непосредственно в процессе выполнения работ.

К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье и материалы, покупные материалы, канцелярские принадлежности, картриджи и т.п. Список материальных затрат приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Список материальных затрат

Наименование материалов	Единицы измерения	Цена за ед., руб.	Количество ед.	Сумма, руб.
Картридж для принтера черный	шт.	840	1	840
Бумага для принтера формата А4, 500 л.	шт.	550	1	550
Маркер черный	шт.	80	1	80
Ручка шариковая	шт.	40	3	120

Продолжение таблицы 3.10

Наименование материалов	Единицы измерения	Цена за ед., руб.	Количество ед.	Сумма, руб.
Упаковка наконечников штыревых втулочных (НШВИ) в наборе 100 шт.	шт.	200	2	400
Провод в ассортименте	м	11,91	200	2382
Гайки в ассортименте	кг.	495	1	495
Шайбы в ассортименте	кг.	320	1	320
Баллон газовый всесезонный REXANT, 220 г	шт.	135,24	5	676,2
Брусок профилированный деревянный 30х30 мм	м	66	20	1320
Деталь мебельная ЛДСП 1200х200х16 мм	шт.	337,5	2	675
ДВП плита 2710х1220х5,5 мм	шт.	453	2	906
Линолеум полукоммерческий, толщина 3 мм, ширина 3 м	Погон. м.	235	3	705
Линолеум на тканевой подложке, толщина 4 мм, ширина 3 м	Погон. м.	450	3	1350
Панель ПВХ 5мм 2,7х0,25х0,008 м	шт.	109	5	545
Комплект ламелей 5шт, длина 180 см	шт.	250	1	250
Пенополистирол ППС12-Р-А 2х1х0,03 м	шт.	288	2	576
Стекло-магниеый лист, 2500х1220х10 мм	шт.	2229	6	13374
Скот алюминиевый 50 мм х 25 м	шт.	278,36	2	556,72
Изолента ПВХ 0,18х0,19 черн. IEK UIZ-20-10-K02	шт.	65,32	3	195,96
Клемма трехпроводная проходня 0,25-2,5 (4) мм ²	шт.	101,33	100	10133,2
Ограничитель на DIN-рейку IEK YXD12	шт.	44,72	20	894,32

Продолжение таблицы 3.10

Наименование материалов	Единицы измерения	Цена за ед., руб.	Количество ед.	Сумма, руб.
Хомут кабельный 2,5х100 нейл. бел., 100 шт. в упаковке	упак.	38,16	4	152,66
Итого				37497,1

В сумме материальные затраты без учета транспортно-заготовительных расходов составили 37497,1 рубль. Цены приняты средние в городе Томске.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.1)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении проекта (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м и т.д.);

$k_T = 10\%$ – коэффициент, учитывающий транспортно–заготовительные расходы.

Тогда:

$$Z_M = (1 + 0,1) \cdot 37497,1 = 41246,81 \text{ руб.}$$

3.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование

В данную статью включаются все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения экспериментальных исследований в рамках данной работы. Затраты по данной статье занесены в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 – Список затрат на специальное оборудование

Наименование оборудования	Срок службы, $T_{сл}$, лет	Единицы измерения	Цена за ед., руб.	Количество ед.	Сумма, руб.
Манометр МП-63 011-0025	5	шт.	909,71	1	909,71
Электромагнитный клапан DN15, G1/2", "НЗ", PN10, ΔP 0-10, Kvs-5.22, FKM, T:-20...+120 °C, AC220V, IP65, латунь	10	шт.	5507,01	1	5507,01
Плита электрическая МАТРЕНА МА-060	3	шт.	820,4	1	820,4
Горелка-насадка газовая GT-19 с пьезоподжигом REXANT 12-0019	3	шт.	529,55	1	529,55
Извещатель тепловой ИП 101-1А-А1 максимальный	10	шт.	360,01	4	1440,04
Извещатель пожарный ИП 212-141	10	шт.	738,51	4	2954,04
Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный радиоканальный ИП-212-05	10	шт.	4760,03	2	9520,06
Пульсар 1-01Н	10	шт.	9843,37	2	19686,74
ИПДЛ-52СМ (ИП212-52СМ) 8-100 м, однопозиционный	10	шт.	18540,73	1	18540,73

Продолжение таблицы 3.11

Наименование оборудования	Срок службы, $T_{сл}$, лет	Единицы измерения	Цена за ед., руб.	Количество ед.	Сумма, руб.
Преобразователь термоэлектрический ДТЭК011-0,7/5	15	шт.	3301,2	4	13204,8
Прибор приемно-контрольный охранно-пожарный Сигнал-20М	10	шт.	4900	1	4900
Панель охранная радиоканальная Контакт GSM-16	10	шт.	19404	1	19404
Блок питания 24В DR-120W-24 ЕКФ dr-120w-24	15	шт.	4324,54	1	4324,54
АС4 преобразователь интерфейсов RS-485 <-> USB с гальванической изоляцией	20	шт.	8904	3	26712
USB-разветвитель DEXP BT7-01	20	шт.	1330	1	1330
Выключатель автоматический модульный 2п С 16А 4.5кА Basic M BMS412C16 ABB 2CDS642041R0164	10	шт.	436,91	1	436,91
Компьютер	10	шт.	60000	1	60000
Итого					190220,53

В сумме материальные затраты без учета транспортно-заготовительных расходов составили 190220,53 рубля. Цены приняты средние в городе Томске.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Тогда расчет затрат на специальное оборудование производится по формуле:

$$Z_{co} = (1 + 0,15) \cdot \text{Сумма} = 1,15 \cdot 190220,53 = 218753,61 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

3.5.3 Расчет затрат на амортизацию

Амортизация – процесс переноса стоимости оборудования на созданную при его участии продукцию и создание источника для простого производства.

Так как в таблице 3.11 достаточно много различного оборудования, то в качестве экономии объема данного раздела приведем расчет амортизации для самого дорогостоящего оборудования.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$Z_{ам} = \frac{T_{исп}}{T_k} \cdot Ц \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad (4.3)$$

где $T_{исп}$ – время использования техники, дней;

T_k – календарное время, дней;

$Ц$ – цена оборудования, руб;

$T_{сл}$ – срок службы оборудования, лет.

Тогда на амортизацию компьютера понадобится:

$$Z_{ам} = \frac{105}{365} \cdot 60000 \cdot \frac{1}{10} = 1726,03 \text{ руб./год.}$$

Аналогичный расчет для АС4 преобразователя интерфейсов:

$$Z_{ам} = \frac{105}{365} \cdot 26712 \cdot \frac{1}{20} = 384,21 \text{ руб./год.}$$

Для Пульсар 1-01Н амортизация будет составлять:

$$Z_{ам} = \frac{105}{365} \cdot 19686,74 \cdot \frac{1}{10} = 566,33 \text{ руб./год.}$$

Общая сумма амортизации на оборудование, указанное в таблице 3.11 составила 5198,49 руб./год.

3.5.4 Заработная плата исполнителей

В данную статью включается основная и дополнительная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Стоит отметить, что настоящие НТИ не подразумевает выплату премий, соответственно расчет дополнительной заработной платы в рамках данного раздела будет исключен.

Тогда статья включает в себя только основную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн}. \quad (4.4)$$

Основная заработная плата для научного руководителя и инженера рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (4.5)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (4.6)$$

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 3.12).

Таблица 3.12 – Баланс рабочего времени (6-дневная рабочая неделя)

Показатели рабочего времени	Научный руководитель и руководитель от предприятия	Инженер
Календарное число дней	365	
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные дни)	118	
Потери рабочего времени:		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни	14	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	185	192

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_d) \cdot k_p, \quad (4.7)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб;

$k_d = 0,2$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_p = 1,3$ – районный коэффициент для города Томска.

Произведем расчет заработной платы научного руководителя проекта, с учетом, что оклад доцента составляет 39300 рублей:

$$Z_M = 39300 \cdot (1 + 0,2) \cdot 1,3 = 61308 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн} = \frac{61308 \cdot 10,4}{185} = 3446,5 \text{ руб.};$$

$$Z_{зп} = Z_{осн} = 3446,5 \cdot 17 = 58590,5 \text{ руб.};$$

Произведем расчет заработной платы научного руководителя проекта, с учетом, что оклад для инженера-студента составляет 16300 рублей:

$$Z_M = 16300 \cdot (1 + 0,2) \cdot 1,3 = 25428 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн} = \frac{25428 \cdot 10,4}{192} = 1377,35 \text{ руб.};$$

$$Z_{зп} = Z_{осн} = 1377,35 \cdot 105 = 144621,75 \text{ руб.};$$

Аналогичным образом производится расчет заработной платы руководителя от предприятия. Результаты расчета заработной платы для трех исполнителей проекта приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты расчета заработной платы исполнителей проекта

Исполнитель проекта	$Z_{тс}$, руб.	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн} = Z_{зп}$, руб.
Научный руководитель	39300	61308	3446,5	17	58590,5
Инженер	16300	25428	1377,35	105	144621,75
Руководитель от предприятия	24800	38688	2174,89	3	6524,67
Итого					209736,92

Из таблицы 3.13 следует, что наибольшая заработная плата за проект у инженера, несмотря на меньший месячный оклад работника. Связан этот факт с количеством рабочих дней, затраченных на разрабатываемый проект.

3.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений по внебюджетные фонды определяются исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.8)$$

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

В итоге, отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя проекта составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,30 \cdot 58590,5 = 17577,15 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,30 \cdot 144621,75 = 43386,53 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя от предприятия составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,30 \cdot 6524,67 = 1957,401 \text{ руб.}$$

Общая сумма отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$Z_{\text{внеб.общ.}} = 17577,15 + 43386,53 + 1957,401 = 62921,08 \text{ руб.}$$

3.5.6 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{со}} + Z_{\text{аморт}} + \sum Z_{\text{осн}} + \sum Z_{\text{внеб.общ}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.9)$$

где $k_{\text{нр}} = 0,16$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Тогда:

$$Z_{\text{накл}} = (41246,81 + 218753,61 + 5198,49 + 209736,92 + 62921,08) \cdot 0,16 = 86057,11 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составили 86057,11 рублей.

3.5.7 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат настоящего проекта является основной для формирования бюджета затрат НИИ, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на данный проект по каждому варианту исполнения приведено в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Бюджет затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	В % от итога	Примечание
1. Материальные затраты проекта	41246,81	6,61	Пункт 3.5.1
2. Затраты на специальное оборудование	218753,61	35,06	Пункт 3.5.2
3. Затраты на амортизацию	5198,49	0,83	Пункт 3.5.3
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	209736,92	33,62	Пункт 3.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	62921,08	10,09	Пункт 3.5.5
6. Накладные расходы	86057,11	13,79	Пункт 3.5.6
7. Бюджет затрат проекта	623914,02	100	Сумма ст. 1-6

Суммарный бюджет проекта равен 623914,02 рублей, где наибольший процент бюджета составляют затраты на специальное оборудование (35,06 %) и по основной заработной плате исполнителей проекта (33,62 %). Меньше всего денежных средств необходимо для амортизации специального оборудования (0,83 %).

Расчетное количество дней, которые необходимо затратить на выполнение всех работ по проекту составляет приблизительно 105 дней для инженера, при этом научному руководителю необходимо затратить 17 дней, а руководителю от предприятия 3 дня. Необходимо отметить, что все работы планируется выполнить за меньший срок.

В итоге, за выполнение всего перечня работ исполнители получают следующую заработную плату (без учета отчислений во внебюджетные фонды):

- инженер – 144621,75 руб.;
- научный руководитель – 58590,5 руб.;
- руководитель от предприятия – 6524,67 руб.

Максимальный бюджет проекта не превышает обозначенной суммы в 800000 рублей, что позволяет использовать вакантные денежные средства на улучшение решения.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность проекта определяется не только превышением некоторых показателей над предыдущими разработками, но и такими фактами как востребованность рынком, цена, бюджет научного проекта, новизна и пр.

Подобные показатели были рассчитаны и проанализированы в настоящем разделе магистерской диссертации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Чванову Сергею Вадимовичу

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Автоматическая система импульсного пожаротушения производственного помещения	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Область исследования: автоматизированная система управления импульсным пожаротушением. Область применения: все отрасли промышленности при наличии производственных помещений технического назначения. Рабочая зона: лаборатория, производственное помещение.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1. Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – ТОИ Р-45-084-01; – СанПиН 2.2.4.3359-16; – ГОСТ 12.2.032-78; – ГОСТ 12.2.033-78; – ГОСТ Р 50923-96; – ГОСТ Р 56274-2014.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	– Отклонение показателей микроклимата; – Превышение уровня шума; – Отсутствие или недостаток естественного света; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенное значение напряжения в электрической цепи; – Тепловое воздействие; – Активное наблюдение за ходом производственного процесса; – Электромагнитные поля на рабочем месте пользователя ПЭВМ; – Взрывопожароопасность газа.

<p>3. Экологическая безопасность: 3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. 3.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>	<p>Анализ влияния: негативное воздействие на окружающую среду на этапе проведения экспериментальных исследований при сжигании модельных очагов. Мероприятия: использование фильтров и утилизация используемых в проекте устройств.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 4.1. Анализ вероятных ЧС 4.2. Обоснование мероприятий предотвращению ЧС.</p>	<p>Возможная и наиболее вероятная ЧС – возникновение пожара на этапе экспериментальных исследований. Разрабатываемая система направлена на предотвращение подобной ЧС.</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Чванов Сергей Вадимович		

4 Социальная ответственность

В настоящей работе была разработана АСУИТ производственного помещения.

Объектом автоматизации является реальное производственное помещения технического назначения, рассматриваемое на базе корпуса 421/1 предприятия ООО «Томскнефтехим», г. Томск. Внедрение данной АСУИПТ позволит своевременно и безошибочно обнаруживать пожар, эффективно его локализовывать и производить тушение путем импульсного распыления воды, что позволит повысить эффективность процесса пожаротушения, снизить водопотребление и минимизировать ущерб технологическому оборудованию.

Для работоспособности данной автоматизированной системы в общем случае необходимо два человека: оператор, находящийся в здании центрального пульта управления и аппаратчик, который контролирует работу технологического оборудования и ведет журнал процесса по месту. При этом по отношению к данной системе оператор отслеживает состояние АСУИПТ, может управлять процессом пожаротушения, а аппаратчик имеет возможность активировать систему по месту путем активации ручных пожарных извещателей.

В связи с особенностью работы, важными опасными и вредными факторами при работе оператора будут являться:

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основным законом Российской Федерации, характеризующимся наличием высшей юридической силы по отношению к другим нормативным документам, является Конституция. Известно, что ни один закон и правовой акт не может ей противоречить.

В соответствии с частью 2 статьи 7, статьей 37, статьей 42, частями 5 и 6 статьи 76 Конституции РФ [61], тезисно можно обозначить основополагающие принципы безопасности здоровья и труда человека, соответствия законов и нормативных актов:

- политика государства направлена на охрану труда и здоровья людей;

- труд свободен и каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены;

- каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением;

- законы и нормативные акты субъектов Российской Федерации не могут противоречить федеральным законам.

В соответствии со статьей 211 ТК РФ [62] государственные нормативные требования охраны труда обязательные для исполнения юридическими и физическими лицами при осуществлении ими любых видов деятельности.

Постановлением Правительства РФ от 27.12.2010 N 1160 "Об утверждении Положения о разработке, утверждении и изменении нормативных правовых актов, содержащих государственные нормативные требования охраны труда" к нормативным правовым актам, содержащим государственные нормативные требования охраны труда, относятся:

- стандарты безопасности труда;

- правила и типовые инструкции по охране труда;

- государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (санитарные правила и нормы, санитарные нормы, санитарные правила и гигиенические нормативы, устанавливающие требования к факторам производственной среды и трудового процесса).

4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Для каждой отрасли установлены специальные требования и нормы по охране труда с учетом специфики направленности трудовой деятельности и выполняемых работниками функций. Требования, в том числе, относятся и к помещениям, в которых располагаются рабочие места, к вентиляции и отоплению этих помещений. Помимо этого, ряд требований относится к освещенности, загазованности, оснащенности оборудованием и инструментами рабочего места.

Согласно статье 221 ТК РФ [62] работодатель за счет своих средств обязан в соответствии с установленными нормами обеспечивать своевременную выдачу, хранение, химическую чистку и сушку, а также ремонт и замену средств индивидуальной защиты: специальной одежды и обуви, дерматологических средств, средств защиты органов дыхания, рук, головы, лица, органов слуха, глаз и др.

Обучение работников должно носить регулярный характер, периодичность проведения инструктажа на рабочем месте по охране труда регламентирована Постановлением Правительства РФ от 24.12.2021 № 2464 [63]. Согласно данному документу, предусматриваются следующие виды инструктажа по охране труда:

- вводный инструктаж по охране труда. Проводится до начала выполнения трудовых функций для вновь принятых работников и иных лиц;
- инструктаж по охране труда на рабочем месте. Включает первичный, повторный и внеплановый инструктажи. Повторный инструктаж проводится не реже одного раза в 6 месяцев;
- целевой инструктаж по охране труда. Проводится в случаях работ повышенной опасности, непредусмотренных должностными инструкциями, перед выполнением работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и пр.

Следуя инструкции по охране труда в конце смены, оператор должен сдать дежурство, сделав отметку в журнале.

Так как разработка и дальнейшая эксплуатация АСУИПТ подразумевает использование компьютера, то следует учитывать требования, предъявляемые к рабочим местам, оборудованным персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ). Эти требования регламентируются следующими документами:

- Трудовой кодекс РФ;
- «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [64]).

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно статье 219 ТК РФ все трудящиеся вправе претендовать на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда.

При организации рабочего места главной целью для работодателя является обеспечение качественного и эффективного выполнения сотрудником работ при полноценном использовании закрепленного за ним оборудования. В связи с этим к рабочему месту предъявляются требования организационного, технического, эргономического, санитарного, гигиенического и экономического характера.

Правильная организация рабочего места позволяет обеспечить безопасные и комфортные условия работы, а также предотвратить развитие профессиональных заболеваний и возникновение несчастных случаев.

Общие требования к организации рабочих мест регулируются ТК РФ, санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами (СанПиН), а также другими правовыми документами.

В настоящее время санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах установлены СанПиН 2.2.4.3359-16, утвержденные Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 № 81 [65]. Этот документ устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам неионизирующей

природы на рабочих местах и источникам этих факторов, а также требования к организации контроля, методам измерения физических факторов на рабочих местах и мерам профилактики вредного воздействия физических факторов на здоровье работающих.

Общие эргономические требования, предъявляемые к рабочему месту при выполнении работ сидя, указаны в ГОСТ 12.2.032-78 [66]; при выполнении работ стоя в ГОСТ 12.2.033-78 [67]; к рабочему месту оператора в ГОСТ Р 50923-96 [68].

В ГОСТ Р 56274-2014 [69] установлены общие показатели и требования в эргономике. Так, согласно этому документу, оценка результата эргономического проектирования любой системы, продукции или услуги должны быть основана на эргономических критериях, не зависимо от того, применялся ли процесс эргономического проектирования.

Эргономические критерии могут быть связаны с:

- производительностью работы человека;
- здоровьем, безопасностью и благополучием человека;
- удовлетворенностью человека.

К эргономическим показателям трудового процесса чаще всего относят:

– гигиенические – показатели, применяемые при установлении соответствия изделия гигиеническим требованиям жизнедеятельности и работоспособности человека при его взаимодействии с изделием (температура, влажность, давление, вибрация, шум, освещенность и т.д.);

– антропометрические – показатели, применяемые при установлении соответствия конструкции изделия величине, форме и массы человеческого тела и его отдельных составляющих, входящих в контакт с изделием;

– физиологические и психофизические – показатели, применяемые при установлении соответствия изделия физиологическим особенностям (требованиям) человека и признакам работы его органов чувств;

– психологические – показатели, применяемые при установлении соответствия изделия возможностям восприятия и переработки информации, психологическим качествам человека и т.д.

4.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [70].

В подавляющей части времени контроль автоматизированной системы управления пожаротушением ведется оператором при использовании ПК, что, в свою очередь, не исключает воздействие вредных и опасных факторов.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для всех этапов разработки и проектирования решения представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Требования к микроклимату в помещении – СанПиН 2.2.4.548-96 [71].
2. Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [72].
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [73].
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	+	+	+	Требования к электробезопасности – ГОСТ 12.1.038-82 [74].

Продолжение таблицы 4.1

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
6. Тепловое воздействие		+		ГОСТ 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий [75]. Требования к температуре касаемых поверхностей – ГОСТ Р 51337-99 [37].
7. Активное наблюдение за ходом производственного процесса (напряжение и нагрузка на зрительный анализатор)			+	Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса – Р 2.2.2006-05 [76].
8. Электромагнитные поля на рабочем месте пользователя ПЭВМ	+		+	Требования к излучению электромагнитным полем – ГОСТ 12.1.006-84 [77].
9. Взрывопожароопасность газа			+	ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

4.3 Анализ выявленных опасных и вредных производственных факторов

4.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на самочувствие человека и его работоспособность. Например, понижение температуры и повышение скорости воздуха способствует усилению конвективного теплообмена и теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма. При повышении температуры

возникают обратные явления. Установлено, что при температуре воздуха более 30 °С работоспособность человека начинает падать [78].

Недостаточная влажность воздуха (менее 20%) также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем загрязнения болезнетворными микроорганизмами.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 4.2, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года. Необходимо отметить, работы по созданию проекта на этапе разработки относятся к категории Ia – работа с интенсивностью затрат до 120 ккал/ч, производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением.

Работа на ПК в офисном помещении относится к классу легких работ. Для данного типа работ допустимые величины микроклиматы должны обеспечиваться при следующих условиях:

- перепад температуры воздуха должен быть не более 3,5 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 4 °С.

Для поддержания оптимальных величин показателей микроклимата следует предусмотреть в помещении, где будет располагаться лабораторный стенд-макет, средства коллективной защиты: средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест [79].

Вредным веществом, содержащимся в воздухе, является углекислый газ, CO₂. ПДК CO₂ в воздухе, согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [80] составляют 20 мг/м³. Проблему уменьшения содержания CO₂ в воздухе можно решить с помощью системы вентиляции.

Таблица 4.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [71]

Период года	Категория работ по уровню затрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

4.3.2 Превышение уровня шума

Шум ухудшает условия труда, оказывая воздействие на организм человека. Процесс огневых испытаний является шумным. Одним из методов уменьшения воздействия шума является снижение или ослабление шума в его источниках – генераторы, нагреватели, трансформаторы, вентиляторы, специализированные механизмы и устройства. Своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума.

ГОСТ 12.1.003-2014 устанавливает допустимые уровни шума (таблица 4.3).

В качестве СИЗ от шума могут использоваться специальные наушники, беруши, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

Таблица 4.3 – Допустимые уровни шума

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

4.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение влияет не только на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, но и на психику человека, его эмоциональное состояние. Исследователями накоплено значительное количество данных по биологическому действию видимого света на организм. Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует через нервную оптико-вегетативную систему на эндокринную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды [81].

Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место оператора достаточным искусственным светом. На этапе проектировки для инженера в дополнение требуется наличие естественного освещения.

Освещенность от светильников общего освещения должна составлять не менее 200 лк. В данных условиях разряд зрительной работы 4г (работа средней точности) [73].

В качестве коллективных средств защиты следует использовать средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест (источники света, осветительные приборы, световые проемы, светозащитные устройства, светофильтры и т.д.) [82].

4.3.4 Поражение электрическим током

Так как все этапы проекта подразумевают использование однофазного электрического тока промышленной частоты 50 Гц и напряжением 220 В, то возникает вероятность поражения током. При этом источником возникновения данного фактора являются любые оголенные токоведущие части оборудования. Также невозможно полностью исключить возникновение короткого замыкания токопроводящих частей оборудования, находящихся под напряжением. Прикоснувшись к проводнику, находящемуся под напряжением, человек «включает» себя в электрическую цепь, если он плохо изолирован от земли или одновременно касается объекта с другим значением потенциала. В этом случае через тело человека проходит электрический ток, который оказывает специфическое действие на организм: термическое, электролитическое, механическое и биологическое [71].

При термическом действии происходит перегрев и функциональное расстройство органов на пути прохождения тока.

Электролитическое действие тока выражается в электролизе жидкости в тканях организма, в том числе крови, и нарушении ее физико-химического состава.

Механическое действие приводит к разрыву тканей, расслоению, ударному действию испарения жидкости из тканей организма.

Биологическое действие тока выражается в раздражении и перевозбуждении нервной системы.

Согласно [74] напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Максимально допустимые значения тока, протекающего через тело человека

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

4.3.5 Тепловое воздействие

Этап изготовления, автоматизированной системы в том числе, включает в себя проведение экспериментальных исследований инженером, где возникает опасность получения ожога кожных покровов человека.

Источником возникновения чрезмерно высокой температуры в данной работе является нагревательный элемент – индуктивная плита; горелка для разжигания модельных очагов; каркас экспериментального стенда, внутри которого происходит горение; поддон, в котором размещается модельный очаг.

Согласно [83] ожог зависит от температуры кожи и продолжительности контакта с касаемой поверхностью.

Оценка риска ожога возможна путем измерения температуры поверхности устройства и сравнения ее с ожоговыми порогами, характерными для материала, из которого эта поверхность изготовлена. Так как в качестве опасной поверхности нагревательного элемента выступает металл без покрытия, то следует руководствоваться ожоговым порогом, представленными на рисунке 4.1. Следует отметить, что для шероховатых поверхностей ожоговые пороги могут быть на 2 °C выше верхних значений области.

На рисунке 4.1 приняты следующие обозначения:

- T_s – температура поверхности, °C;
- t – продолжительность контакта, с.

С учетом того, что нагревательный элемент потенциально нацелен на эксплуатацию во всем температурном диапазоне от 0 до 200 °С, то норма окажется превышенной, следовательно, присутствует опасность получения ожога.

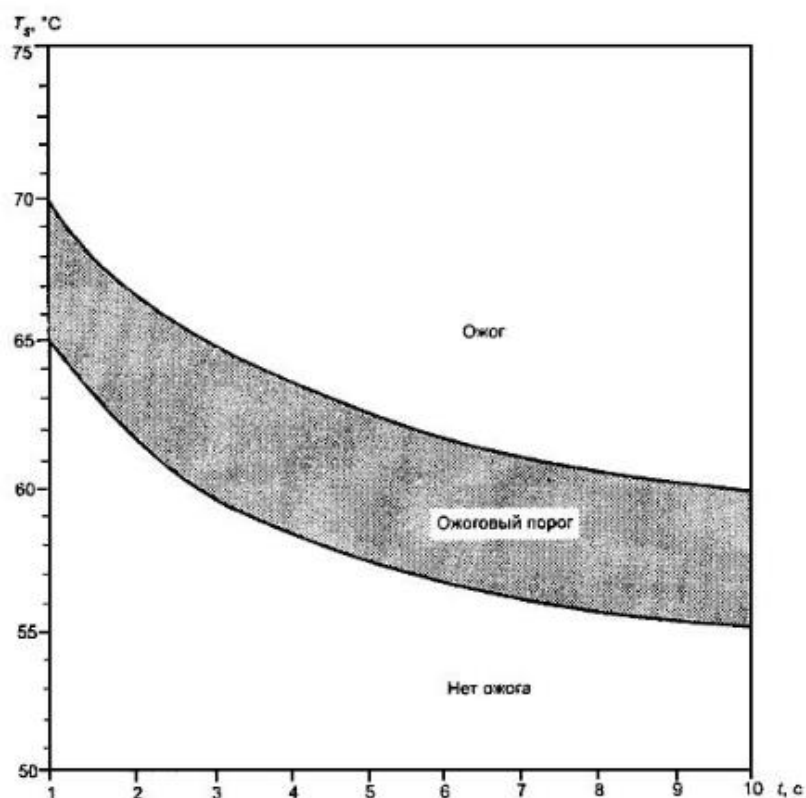


Рисунок 4.1 – Область ожогового порога при контакте кожи с гладкой горячей поверхностью металла без покрытия [74]

В качестве средств индивидуальной защиты в работе применяются спецодежда (брезентовые или суконные костюмы), очки со светофильтрами и щиток из органического огнеупорного стекла.

4.3.6 Активное наблюдение за ходом производственного процесса

Работа оператора в процессе эксплуатации системы подразумевает активное наблюдение за ходом производственного процесса. При этом возникают аспекты вредного производственного фактора, связанным с нагрузкой зрительного анализатора, такие как:

– размер объекта различения при длительности сосредоточенного внимания. Чем меньше размер предмета (цифровой, буквенной информации) и чем выше длительнее время наблюдения, тем выше нагрузка;

– наблюдение за экраном, дисплеем. Фиксируется время непосредственной работы оператора с ЭВМ в течении смены. Чем больше данное время, тем выше нагрузка.

Для предупреждения зрительного утомления рекомендуется организовывать непродолжительные перерывы для проведения упражнений для глаз, а также чередование работы с ПЭВМ и без нее.

4.3.7 Повышенный уровень электромагнитных полей

Главным источником возникновения электромагнитного поля в настоящей работе является персональный компьютер. Электромагнитные поля оказывают на организм человека тепловое и биологическое воздействие. При повышении частоты электростатические свойства живых тканей сильно изменяются. Переменное поле вызывает нагрев тканей человека. Энергия проникшего в организм многократно преломляется в многослойной структуре тела с разной толщиной слоев тканей [79].

Тепловая энергия, возникшая в тканях человека, увеличивает тепловыделение. Выделение теплоты может приводить к перегреванию тканей и органов, которые недостаточно хорошо снабжены кровеносными сосудами. Такие органы как мозг, глаза, почки и ткани человека, которые обладают слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению. Перегревание тканей и органов ведет к их заболеваниям.

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать 100 мкР/ч [64].

При работе с ЭВМ электромагнитное излучение вырабатывают системный блок, принтер, но самое мощное – монитор.

Во избежание негативного воздействия от электромагнитного излучения нужно следовать основным нормам, представленным в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [84].

4.3.8 Взрывопожароопасность газа

Объектом автоматизации является реальное производственное помещения, на базе корпуса 421/1, производства ПЭВД. В данном помещении технологический процесс связан с непрерывным взаимодействием с взрывопожароопасным газом – этиленом. В связи с этим помещение относится к категории А по пожарной опасности: повышенная взрывопожароопасность [39], что указывает на наличие легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ.

В случае взрыва или воспламенения газа возникает пожарная опасность, связанная с неконтролируемым горением и выделением вредных продуктов горения.

Так как настоящая работа посвящена разработке автоматизированной системы пожаротушения, которая нацелена на обеспечение пожарной безопасности, то подробно останавливаться на данном пункте не имеет смысла.

4.4 Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Так как в настоящее время разработка АСУИПТ находится на стадии разработки и проектирования, то мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов рассмотрим применительно к инженеру-проектировщику.

Для защиты людей от вредного воздействия теплового излучения и высоких температур часто применяется теплоизоляция горячих

поверхностей, например, путем обмазки наружных поверхностей каким-либо строительным раствором с наполнителем в виде стекловаты и асбеста. Общей защитой от излучения могут служить экраны из малотеплопроводных материалов (асбест, шифер).

Все производственные помещения можно разделить на три категории по опасности поражения электрическим током [85]:

- помещения с повышенной опасностью;
- особо опасные помещения;
- без повышенной опасности.

Помещение, в котором проводились экспериментальные исследования относится к третьей группе – помещение без повышенной опасности. В таком случае, необходимость возникает лишь в применении основных коллективных способах и средствах электрозащиты. К таковым относятся [86]:

- изоляция проводов и ее непрерывный контроль;
- предупредительная сигнализация и блокировка;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- защитное заземление и защитное отключение.

Основным источником повышенного уровня электромагнитных полей является ПК, следовательно, стоит остановить выбор на мероприятиях, ограничивающих взаимодействие человек–компьютер. Согласно [64] продолжительность непрерывной работы за компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2 часов. Рекомендуется делать перерывы в работе за ПК продолжительностью 10 минут через каждые 50 минут работы. Не рекомендуется работать за компьютером более 6 часов за смену.

Переходя к проблеме недостаточной освещенности, стоит отметить, что чаще всего, недостаток необходимого уровня освещения устраняется увеличением количества источников света или их заменой на другие источники света с лучшими характеристиками.

В некоторых случаях, качество освещенности ухудшает наличие загрязненности стекол источников света и в светопроемах. В таком случае следует проанализировать степень загрязненности стекол и принять меры по их очистке.

При недостатке естественного освещения следует провести косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

Искусственное освещение при совмещенном освещении помещений и выбор источников света следует проводить в соответствии с требованиями раздела 7 в [87].

Главным мероприятием по поддержанию параметров микроклимата в оптимальных диапазонах является применение в помещении необходимых приборов микроклимата (кондиционеры, электрорадиаторы, электроувлажнители воздуха и т.д.).

4.5 Экологическая безопасность

Основная угроза экологической безопасности при разработке настоящего проекта, очевидно приходится на стадию экспериментальных исследований, а также косвенно на изготовление устройств, входящих в состав автоматизированной системы. Эксплуатация системы не подразумевает наличие какого-либо экологического вреда окружающей среде. Напротив, разрабатываемое решение призвано быстро и эффективно ликвидировать локальное возгорание, с целью предотвращения разрастания пламени и, следовательно, уменьшения концентрации выделяющихся продуктов горения.

На этапе экспериментальных исследований поджигаются и тушатся модельные очаги из различных материалов: древесины, линолеума, мебельной ДСП, ДВП, панелей из ПВХ, пенополистирола. При этом при горении модельных очагов выделяются вредные вещества, приведенные в таблице 1.2 научно-исследовательской работы. Вредные вещества удалялись

из экспериментального стенда при помощи вытяжной системы в окружающую среду. В связи с этим, в качестве возможного мероприятия может рассматриваться установка очищающих фильтров в вытяжной системе.

Следует отметить, что максимальную массу имел двухслойный модельный очаг из мебельной ДСП и составлял 412 г (таблица 1.3). Масса остальных очагов была значительно меньше. Полное сгорание образцов не допускалось ни в одном эксперименте. В таком случае экологический ущерб можно считать незначительным.

Другая установленная угроза связана с заводским изготовлением и утилизацией устройств, входящих в состав автоматизированной системы. К таковым относятся: офисная техника, пожарные извещатели всех видов, ПЛК, провода и кабели.

Утилизация таких отходов производится в соответствии с рекомендациями производителя и чаще всего возложена на специализированные лицензированные организации. Причиной этому служит наличие различных вредных составляющих (тяжелые металлы, печатные платы с замедлителями горения и т.д.) в составе обозначенной техники.

Для опасных отходов используют теплоту сжигания, то есть специальные печи, однако такой способ не исключает образование токсичных выбросов.

Отходы, которые не подлежат переработке, утилизации и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве.

4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможным и наиболее вероятным видом чрезвычайной ситуации является возникновение пожара при проведении экспериментальных исследований или изготовлении разрабатываемого решения. Само решение, наоборот, направлено для предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Перегрузка проводов, короткое замыкание, искрение и неисправности оборудования могут послужить причиной возникновения пожара в рабочем помещении.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 [88] пожарная профилактика обеспечивается:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно – техническими мероприятиями.

К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

Дополнительно к проектируемой системе должны предусматриваться базовые меры противопожарной защиты, такие как средства коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара, а также наличие порошковых или углекислотных огнетушителей.

Также при возникновении пожара первоочередной обязанностью каждого работника учреждения является спасение жизни людей. При обнаружении загорания преподаватель или студент немедленно должен сообщить об этом по телефонам 01, 101 или 112 в пожарную охрану, руководителю и приступить к эвакуации людей. На предприятиях, в том числе на ООО «Томскнефтехим» действуют телефоны внутренних спецслужб. При возможности следует попытаться попробовать самостоятельно потушить пожар, используя находящийся в лаборатории или помещении огнетушитель. При опасности поражения электрическим током необходимо отключить электроэнергию. Во время пожара необходимо воздержаться от открытия окон и дверей для уменьшения притока воздуха. При сильном задымлении, немедленно покинуть помещение, плотно закрыв дверь.

Выводы по разделу

Главной значимостью полученных результатов раздела «Социальная ответственность» следует считать перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов, сопровождающих все стадии внедрения разрабатываемого решения, а также мероприятий, позволяющих снизить эти факторы к минимуму.

Необходимо отметить важность умения грамотно пользоваться нормативными документами и законами Российской Федерации для предупреждения различного рода проблем, возникающих как на социальном, так и на производственном уровне. В настоящем разделе приведено множество примеров использования таких документов.

На сегодняшний день в мире остро строит проблема экологической безопасности, поэтому влияние на экологию каждого внедряемого решения порой играет решающую роль в его эффективности и резонности. В данном разделе были рассмотрены основные угрозы экологической безопасности и приведены возможные мероприятия по их предотвращению.

Современный человек, окруженный множеством потенциально-опасных устройств, способных спровоцировать возникновение чрезвычайных ситуаций, должен знать меры по предупреждению и порядок действий в результате возникновения таких ситуаций. В текущем разделе была рассмотрена основная возможная чрезвычайная ситуация при внедрении разрабатываемого решения и представлены необходимые меры по ее предупреждению и устранению.

Стоит отметить, что разрабатываемая автоматизированная система также нацелена на повышение пожарной безопасности, а также является средством предотвращения чрезвычайной ситуации.

Все полученные результаты раздела «Социальная ответственность» возможно внедрить во все стадии проекта.

Заключение

В результате выполнения настоящей магистерской диссертации была разработана автоматизированная система управления импульсным пожаротушением реального производственного помещения на основе современных средств автоматизации и микропроцессорной техники. Проведенная научно-исследовательская работа по данному направлению показывает большую эффективность использования системы импульсного пожаротушения по сравнению с применением непрерывного распыления воды практически для всех модельных очагов, с которыми проводились экспериментальные исследования в разделе 1 данной работы. Исходя из этого, проектирование, внедрение и использование импульсных систем пожаротушения может быть востребованным в качестве альтернативы действующим непрерывным АСПТ не только производственных помещений различных отраслей промышленности, но также и офисов, гражданских зданий.

Спроектированная автоматизированная система является классической трехуровневой, где на полевом уровне располагаются измерительные преобразователи и пожарные извещатели, на среднем уровне ПЛК компании «ЭлеСи», г. Томск, а на верхнем – АРМ оператора. В разделе 2 для данной системы разработана проектно-конструкторская документация, экранные формы мнемосхемы SCADA-системы, а также произведено наполнение системы информационным, математическим и программным обеспечением.

В разделе 3 произведен расчет финансовой составляющей научного исследования. Анализ конкурентных решений демонстрирует возможную востребованность предлагаемого технического решения во многих нишах рынка.

Главной значимостью полученных результатов 4 раздела следует считать перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов,

сопровождающих все стадии внедрения разрабатываемого решения, а также мероприятий, позволяющих снизить эти факторы к минимуму. Стоит отметить, что разработанная система пожаротушения является инструментом предотвращения несчастных случаев и катастрофических последствий пожаров в производственных помещениях.

В заключении следует отметить главные преимущества разработанной АСУИПТ:

- эффективность обнаружения, локализации и тушения возгораний в замкнутых помещениях;

- уменьшение вреда, наносимого находящемуся в производственном помещении технологическому оборудованию, от распыления воды за счет локального обнаружения и тушения очага пожара;

- уменьшение расхода тушащего состава, а, следовательно, и экономических затрат на тушение пожара;

- широкий выбор микропроцессорных устройств, измерительных преобразователей, пожарных извещателей для построения системы.

Основными недостатками, выявленными в ходе выполнения работы, можно считать:

- многочисленность проводов для отдельного подключения каждого пожарного извещателя к ПЛК;

- относительная дороговизна и сложность внедрения данной системы за счет большого объема технических устройств и средств автоматизации.

В дальнейшем, приоритетным направлением развития результатов данной работы является совершенствование системы импульсного пожаротушения. Так, например, внедрение систем газоанализа демонстрирует положительные результаты идентификации горящих материалов по составу продуктов горения. Совместное использование

разработанной АСУИПТ и системы газоанализа могут привести к улучшению точности, надежности и эффективности систем пожаротушения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. J.D. Swann, Y. Ding, S.I. Stoliarov, Characterization of pyrolysis and combustion of rigid polyvinyl chloride using two-dimensional modeling, *Int. J. Heat Mass Transf.* 132 (2019) 347–361. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.12.011>.
2. P. Sun, A. Rodriguez, W. Il Kim, X. Huang, C. Fernandez-Pello, Effect of external and internal heating on the flame spread and phase change of thin polyethylene tubes, *Int. J. Therm. Sci.* 168 (2021) 107054. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107054>.
3. Q. He, O.A. Ezekoye, C. Li, S. Lu, Ventilation limited extinction of fires in ceiling vented compartments, *Int. J. Heat Mass Transf.* 91 (2015) 570–583. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.07.080>.
4. W. Węgrzyński, Transient characteristic of the flow of heat and mass in a fire as the basis for optimized solution for smoke exhaust, *Int. J. Heat Mass Transf.* 114 (2017) 483–500. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.088>.
5. A. Tugnoli, R. Moricone, G.E. Scarponi, V. Cozzani, Effective thermal conductivity of fibrous fireproofing materials, *Int. J. Therm. Sci.* 136 (2019) 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.09.035>.
6. Y. Zhou, R. Bu, J. Gong, X. Zhang, C. Fan, X. Wang, Assessment of a clean and efficient fire-extinguishing technique: Continuous and cycling discharge water mist system, *J. Clean. Prod.* 182 (2018) 682–693. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.046>.
7. X. Zhou, S.P. D’Aniello, H.-Z. Yu, Spray characterization measurements of a pendent fire sprinkler, *Fire Saf. J.* 54 (2012) 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.07.007>.
8. Y. Liu, Z. Fang, Z. Tang, T. Beji, B. Merci, The combined effect of a water mist system and longitudinal ventilation on the fire and smoke dynamics in a

tunnel, Fire Saf. J. 122 (2021) 103351.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.10.014>.

9. H. Shrigondekar, A. Chowdhury, S. V Prabhu, Performance of water mist system with base injection in extinguishing small container fires, J. Loss Prev. Process Ind. 71 (2021) 104448. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104448>.

10. L.A. Dombrovsky, S. Dembele, J.X. Wen, A simplified model for the shielding of fire thermal radiation by water mists, Int. J. Heat Mass Transf. 96 (2016) 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.028>.

11. L.A. Dombrovsky, V.Y. Levashov, A.P. Kryukov, S. Dembele, J.X. Wen, A comparative analysis of shielding of thermal radiation of fires using mist curtains containing droplets of pure water or sea water, Int. J. Therm. Sci. 152 (2020) 106299. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106299>.

12. G. Grant, J. Brenton, D. Drysdale, Fire suppression by water sprays, Prog. Energy Combust. Sci. 26 (2000) 79–130. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(99\)00012-X](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(99)00012-X).

13. M. Gupta, R. Rajora, S. Sahai, R. Shankar, A. Ray, S.R. Kale, Experimental evaluation of fire suppression characteristics of twin fluid water mist system, Fire Saf. J. 54 (2012) 130–142. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.08.007>.

14. Y.Z. Li, H. Ingason, Parametric study of design fires for tunnels with water-based fire suppression systems, Fire Saf. J. 120 (2021) 103107. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103107>.

15. Z. Lin, R. Bu, J. Zhao, Y. Zhou, Numerical investigation on fire-extinguishing performance using pulsed water mist in open and confined spaces, Case Stud. Therm. Eng. 13 (2019) 100402. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100402>.

16. X. Wang, Q. Tan, Z. Wang, X. Kong, H. Cong, Preliminary study on fire protection of window glass by water mist curtain, Int. J. Therm. Sci. 125 (2018) 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013>.

17. F. Nmira, J.L. Consalvi, A. Kaiss, A.C. Fernandez-Pello, B. Porterie, A numerical study of water mist mitigation of tunnel fires, *Fire Saf. J.* 44 (2009) 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.06.002>.
18. R. Mehaddi, A. Collin, P. Boulet, Z. Acem, J. Telassamou, S. Becker, F. Demeurie, J.-Y. Morel, Use of a water mist for smoke confinement and radiation shielding in case of fire during tunnel construction, *Int. J. Therm. Sci.* 148 (2020) 106156. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106156>.
19. H. Ingason, Y.Z. Li, Large scale tunnel fire tests with different types of large droplet fixed fire fighting systems, *Fire Saf. J.* 107 (2019) 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.04.007>.
20. M. Arvidson, Large-Scale Water Spray and Water Mist Fire Suppression System Tests for the Protection of Ro–Ro Cargo Decks on Ships, *Fire Technol.* 50 (2014) 589–610. <https://doi.org/10.1007/s10694-012-0312-7>.
21. V. Kodur, P. Kumar, M.M. Rafi, Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety, *PSU Res. Rev.* ahead-of-p (2019). <https://doi.org/10.1108/PRR-12-2018-0033>.
22. B. Yao, B.H. Cong, J. Qin, W.K. Chow, Experimental study of suppressing Poly(methyl methacrylate) fires using water mists, *Fire Saf. J.* 47 (2012) 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2011.08.004>.
23. F. Tamanini, A Study of the Extinguishment of Vertical Wood Slabs in Self-sustained Burning by Water Spray Application, *Combust. Sci. Technol.* 14 (1976) 1–15. <https://doi.org/10.1080/00102207608946741>.
24. M. Noaki, M.A. Delichatsios, J. Yamaguchi, Y. Ohmiya, Heat release rate of wooden cribs with water application for fire suppression, *Fire Saf. J.* 95 (2018) 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.10.002>.
25. T. Rappsilber, P. Below, S. Krüger, Wood crib fire tests to evaluate the influence of extinguishing media and jet type on extinguishing performance at close range, *Fire Saf. J.* 106 (2019) 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.04.014>.

26. F. Pancawardani, D. Arini, R.P. Yunindar, M.L. Ramadhan, F.A. Imran, Y.S. Nugroho, Analysis of Water Mist Fire Suppression System Applied on Cellulose Fire, *Procedia Eng.* 170 (2017) 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.049>.
27. L. Yimin, B. Yao, J. Qin, Preliminary burning tests on PVC fires with water mist, *Polym. Test.* 24 (2005) 583–587. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.02.010>.
28. L.A. Lowden, T.R. Hull, Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction, *Fire Sci. Rev.* 2 (2013) 4. <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-4>.
29. W.D. Woolley, M.M. Raftery, Smoke and toxicity hazards of plastics in fires, *J. Hazard. Mater.* 1 (1975) 215–222. [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(75\)80014-8](https://doi.org/10.1016/0304-3894(75)80014-8).
30. R. Lyon, CHAPTER 3 PLASTICS AND RUBBER, in: 2004.
31. G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, R.S. Volkov, O.V. Vysokomornaya, Integral characteristics of water droplet evaporation in high temperature combustion products of typical flammable liquids using SP and IPI methods, *Int. J. Therm. Sci.* 108 (2016) 218–234. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.05.019>
32. R.S. Volkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Influence of droplet concentration on evaporation in a high-temperature gas, *Int. J. Heat Mass Transf.* 96 (2016) 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.029>
33. R.S. Volkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, The influence of initial sizes and velocities of water droplets on transfer characteristics at high-temperature gas flow, *Int. J. Heat Mass Transf.* 79 (2014) 838–845. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.09.006>
34. P.A. Strizhak, R.S. Volkov, The integral characteristics of the deceleration and entrainment of water droplets by the counter flow of high-temperature combustion products, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 75 (2016) 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.01.018>

35. Chvanov, S.V.; Kuznetsov, G. V.; Stizhak, P.A.; Volkov, R.S. The necessary water discharge density to suppress fires in premises. Powder Technol. 2022, 408, doi:10.1016/j.powtec.2022.117707.

36. R.S. Volkov, N.P. Kopylov, G.V. Kuznetsov, I.R. Khasanov, Experimental investigation of the suppression of crown and ground forest fires, J. Eng. Phys. Thermophys. 92 (2019) 1453–1465. <https://doi.org/10.1007/s10891-019-02064-9>

37. I.S. Voitkov, R.S. Volkov, A.O. Zhdanova, G.V. Kuznetsov, V.E. Nakoryakov, Physicochemical processes in the interaction of aerosol with the combustion front of forest fuel materials, J. Appl. Mech. Tech. Phys. 59 (2018) 891–902. <https://doi.org/10.1134/S0021894418050176>

38. A. Albadi, Y. Zhang, Experimental study of water droplet impact on burning wood surfaces, Proc. Combust. Inst. 38 (2021) 4605–4613. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.05.004>.

39. СП 12.13130.2009 Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России. 2009. – 30 с.

40. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.

41. Устройство и принцип работы спринклерного пожаротушения, нормы установки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proffidom.ru/68-sprinklernaya-sistema-pozharotusheniya.html>. – Загл. с экрана.

42. ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostexpert.ru/gost/gost-34.602-89>. – Загл. с экрана.

43. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы.

Стадии создания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200006921>. – Загл. с экрана.

44. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/11319/>. – Загл. с экрана.

45. СП 485.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573004280> – Загл. с экрана.

46. ГОСТ 12.2.047-86 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200007105> – Загл. с экрана.

47. Стрижак П.А. Теория автоматического управления: Методические указания по выполнению курсовой работы для студентов специальности 220301. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 12 с.

48. Волощенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования. - 2 изд. - Томск: Томский политехнический университет, 2011. - 108 с.

49. Контроллеры SIMATIC S7–300. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-ru.com/taxonomy/term/13>, свободный. – Загл. с экрана.

50. ПЛК ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/plc.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.

51. ПЛК ЭЛСИ-ТМ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elesy.nt-rt.ru/images/manuals/plc.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

52. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля/ Клюев А.С., Глазов Б.В., Миндин М.Б., Клюев

С.А.; Под ред. Ключева А.С. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 432 с.: ил.

53. ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации. Форматы. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2007. – 5 с

54. ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2011. – 26 с.

55. СКС ЭЛЕКТРО. Электронный каталог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn----jtbncduncbo1j.xn--p1ai/catalog/kvvg/kvvg-2x0-75/>, – Загл. с экрана.

56. Кабель РФ. Электронный каталог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cable.ru/cable/group-krvg.php>, – Загл. с экрана.

57. ЭКС. Электронный каталог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e-кс.ru/cena/cable-vvng-1s-3-1_5, – Загл. с экрана.

58. Кабель Москва. Электронный каталог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://xn----7sbdqwji0k.xn--p1ai/cable_mark/kvvgng, – Загл. с экрана.

59. Кабель КПСЭнг(А)-FRLS 1x2x0,75 монтажный для ОПС и СОУЭ не поддерживающий горения экранированный огнестойкий 1 пара 0,75 мм.кв. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.etm.ru/cat/nn/6376222?city=77>. – Загл. с экрана.

60. Тинко. Электронный каталог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tinko.ru/catalog/product/243636/>, – Загл. с экрана.

61. Конституция Российской Федерации: принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года. : (с учетом поправок, внесенных Законами Российской Федерации о поправках к Конституции Российской Федерации от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ30) // СПС «Консультант плюс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399. – Загл. с экрана.

62. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // СПС «Консультант плюс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683. – Загл. с экрана.

63. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.12.2021 №2464 «О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112290004>. – Загл. с экрана

64. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 54 с.

65. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М.: Норматика, 2018. – 68 с.

66. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2020. – 9 с.

67. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2020. – 9 с.

68. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2008. – 12 с.

69. ГОСТ Р 56274-2014. Общие показатели и требования в эргономике. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2015. – 31 с.

70. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2019. – 15 с.

71. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2001. – 20 с.

72. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.; Москва: Изд. Издательство стандартов, 2014. – 15 с.

73. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2018. – 121 с.

74. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1). – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2020. – 7 с.

75. ГОСТ 30331.4-95 Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001338>. – Загл. с экрана.

76. Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М: ЦЕНТРМАГ. 2023. – 184 с.

77. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля (с Изменением N 1). – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2020. – 5 с.

78. Влияние параметров микроклимата на самочувствие человека. - Безопасность жизнедеятельности человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://students-library.com/library/read/37296-vlianie-parametrov-mikroklimate-na-samocuvstvie-celoveka>. – Загл. с экрана.

79. Гайзетдинова А.М., Гайсина Г.А. Электромагнитное поле и его влияние на здоровье человека // Международный студенческий научный вестник. - 2018. - №3.

80. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>. – Загл. с экрана.

81. Кудряшов А.В. Влияние показателей световой среды на работу операторов // Современные проблемы науки и образования. - 2005. - №1.

82. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2020. – 8 с.

83. ГОСТ Р 51337-99. Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2020. – 18 с.

84. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – Москва: Изд. Деан, 2003. – 56 с.

85. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2018. – 20 с.

86. ГОСТ ИЕС 61140-2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования (с Поправкой). – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2014. – 34 с.

87. ГОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. – СПб.: ЦОТИБСПИО, 2008. – 8 с.

88. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). – М.: ИПК Изд-во стандартов. 2006. – 68 с.

Приложение А
(справочное)

The necessary water discharge density to suppress fires in premises

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Чванов Сергей Вадимович		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

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

1 Introduction

The safety of people in buildings and structures depends on the efficiency of fire protection systems installed in them. As most of the materials used for interior finishing and furniture are highly combustible [1,2], the fire safety of buildings is improved in two main directions [3]. The first direction is aimed at increasing the efficiency of fire-fighting systems [4]. The required particle size and density of the fire-extinguishing agent flow, the place of atomizer installation are selected; the effective ranges of fire sensor activation and ventilation system parameters [5,6] etc. are adjusted. Experimental studies on the effect of nanoparticles on the rheological properties of foam [7] have been carried out; these results provide valuable theoretical foundations for the use of nanoparticles in fire extinguishing agents. The studies in this area mainly seek to identify conditions that would make it possible to record a fire at an early stage on the one hand, and select the optimum characteristics of a fire-fighting agent supply system allowing the containment and suppression of a fire within a very short time on the other hand. The second direction is passive methods aimed at defining the characteristics and reducing the flammability of fire-hazardous materials, as well as at simulating pyrolysis and combustion of these materials under fire conditions [7]. However, despite certain advances in this field [7], the statistics show that even when non-combustible materials are used, it is often impossible to entirely exclude the possibility of a fire because of a number of reasons and factors. Thus, the first direction appears to be most relevant for research.

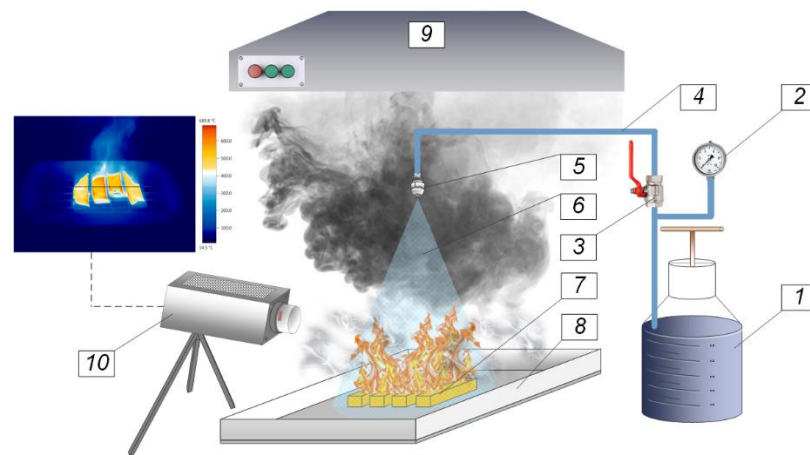
Fine water spray systems, i.e. the so-called water mist technologies, are the most effective fire extinguishers used indoors to date. Such systems are used both in conventional buildings [8] and in the usable spaces of dedicated structures [9–11] and rooms (tunnels, compartments, ships) [12]. Such systems became widespread in small closed spaces [8–13] where water mist droplets can quickly and efficiently fill the whole volume. In this case, water mist firefighting systems are highly desirable and effective. To provide fire safety in large industrial premises, sprinkler and deluge systems currently remain a sought-after choice.

This situation is conditioned by the vastness of spaces and their complicated geometry, as well as by scarce research in this field (due to its sophistication and high cost). Fire extinguishing systems utilizing a sprayed liquid flow are cheap, easy to tune and feature high fire extinguishing efficiency [14].

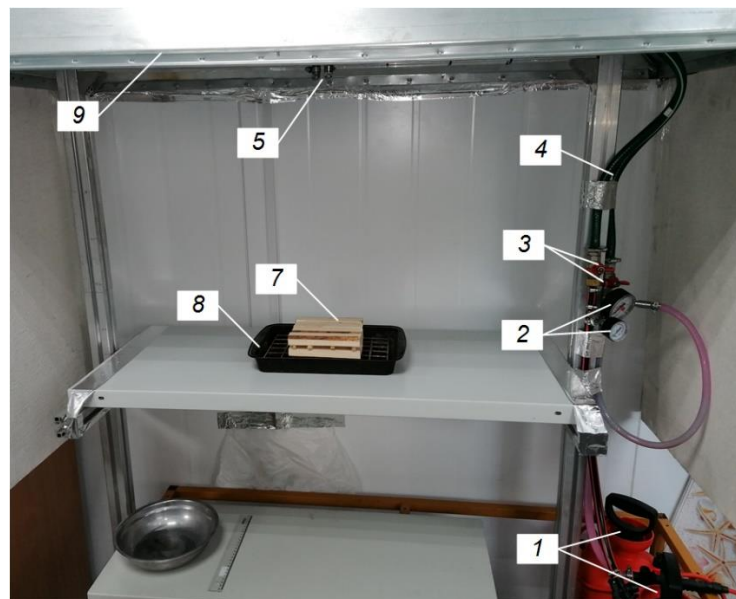
The aim of this research is to experimentally determine the effective water discharge density in premises to reduce the temperature of burning materials and suppress a fire, as well as to comprehensively analyze the relative fire suppression performance indicators.

2 Experimental setup

Fig. 1 illustrates the scheme and exterior of the developed setup. It was used to study the combustion and extinguishment of Class A model fires. The setup is a structure with a model fire on a metal sheet (Fig. 1) located at the base. Spray nozzles generating a droplet flow were placed at a height of 600 mm from the base of the model fire. The level of the nozzles was determined experimentally so that the aerosol flow completely covered the model fire. Tap water poured into 7-litre cylinder was used as extinguishing liquid. An overpressure of 0.5–2 bar (50–200 kPa) was built up in the water cylinders. It was measured with manometers with an accuracy of no more than 5 kPa. Pressurized water was supplied to spray nozzles through flexible heat-resistant hoses after opening the cutoff valves. An exhaust system was used in the experiments to remove smoke. All experiments were performed with the exhaust system turned on (for this reason, the influence of the air flow velocity on the measurement results can be neglected). A Testo-885 thermal imager (spectral range 7.5–14 μm ; temperature range 30–1200 $^{\circ}\text{C}$; accuracy ± 2 $^{\circ}\text{C}$; radiation coefficient range 0.01–1; frame resolution 640 \times 480 pix) was used to monitor the temperature of the model fire during the experiment.



a



b

Fig.1. Scheme (a) and exterior (b) of the setup: 1 – pressurized water cylinders; 2 – manometers; 3 – cutoff valves; 4 – water supply hoses; 5 – spray nozzles; 6 – aerosol flow; 7 – model fire; 8 – base of a model fire; 9 – exhaust system; 10 – thermal imager

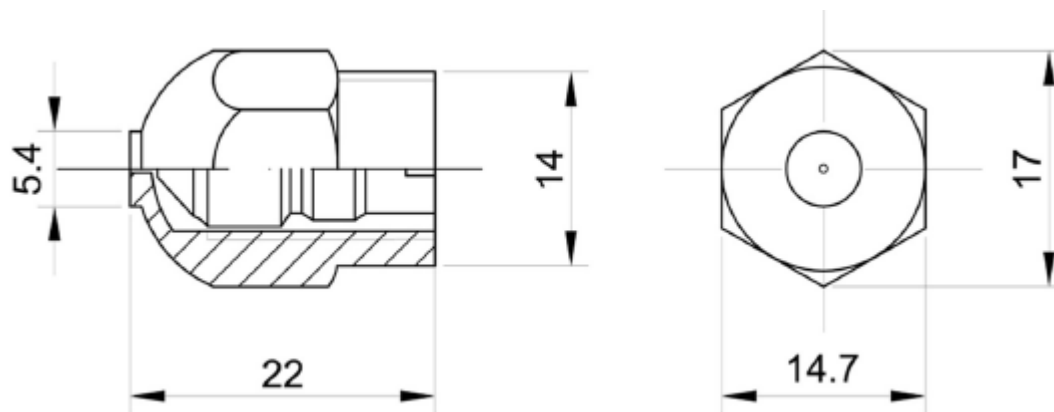
3 Spray nozzles

Spray nozzles (FMT-60 and FMT-100) were used to supply water to the model fire source. Fig. 2 shows their appearance. The spraying parameters of the nozzles (droplet velocity and size, volume flow rate and water discharge density) depend mainly on the pressure in the spray system. For this reason, sections 3.1–3.3 describe the experiments to determine the spray characteristics of these

nozzles. The spray angles of the nozzles used in the experiments are presented in Table 1.



a



b

Fig.2. FMT-60 and FMT-100 spray nozzles: a – appearance; b – dimensions (in mm)

Table 1. Spray angles of FMT-60 and FMT-100 nozzles used in the experiments at different pressures

Type of nozzles	P (bar)			
	0.5	1	1.5	2
FMT-60	35	31	28	24
FMT-100	33	47	53	62

It is shown that with an increase in pressure in the liquid supply system, the spray angle decreases for the FMT-60 nozzle, and increases for the FMT-100 nozzle. This feature is due to the geometric parameters of the used nozzles, in particular, the diameter of the outlet nozzle, its shape, size and number of microchannels in the inner part. The dimensions of the nozzles are shown in Fig. 2b.

3.1 Determination of velocity and size of generated droplets

The velocities and average sizes of droplets in the aerosol flow were recorded at the first stage of the experiments. Shadow Photography (SP) [15,16] and Particle Image Velocimetry (PIV) [16–18] methods were used to record the aerosol parameters. Fig. 3 illustrates the recording schemes using these methods.

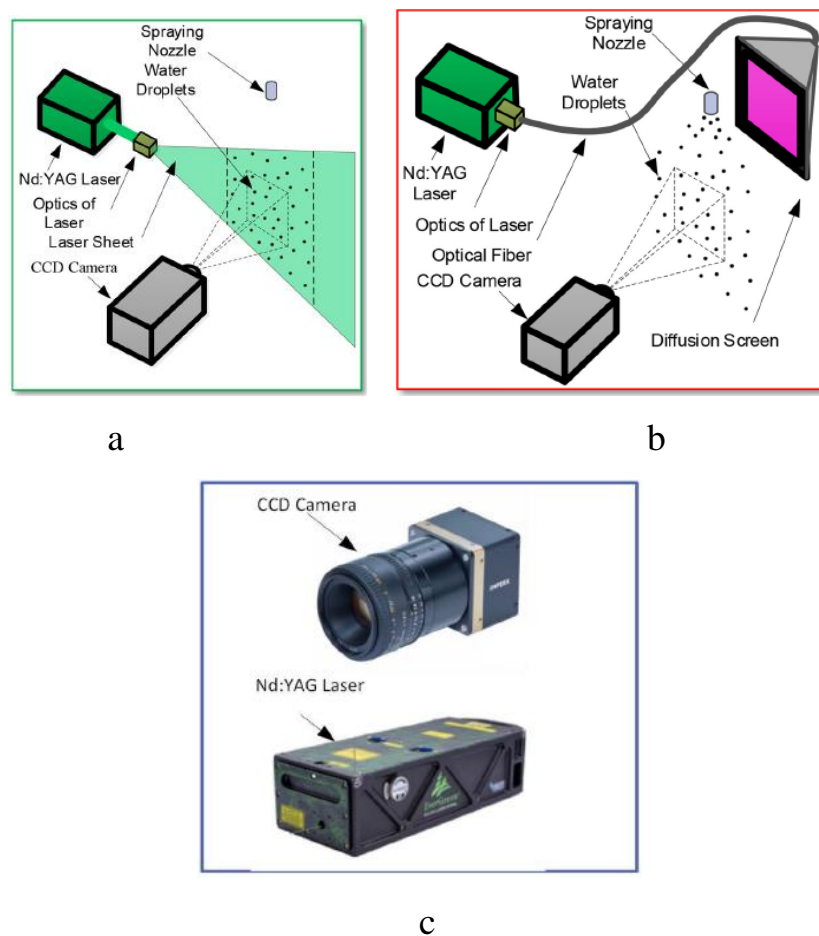


Fig. 3. Scheme of setups for using PIV (a), SP (b) methods and appearance of the main technical means (c)

The result was a two-component average velocity field of the droplet flow (similar to the one presented in Fig. 4).

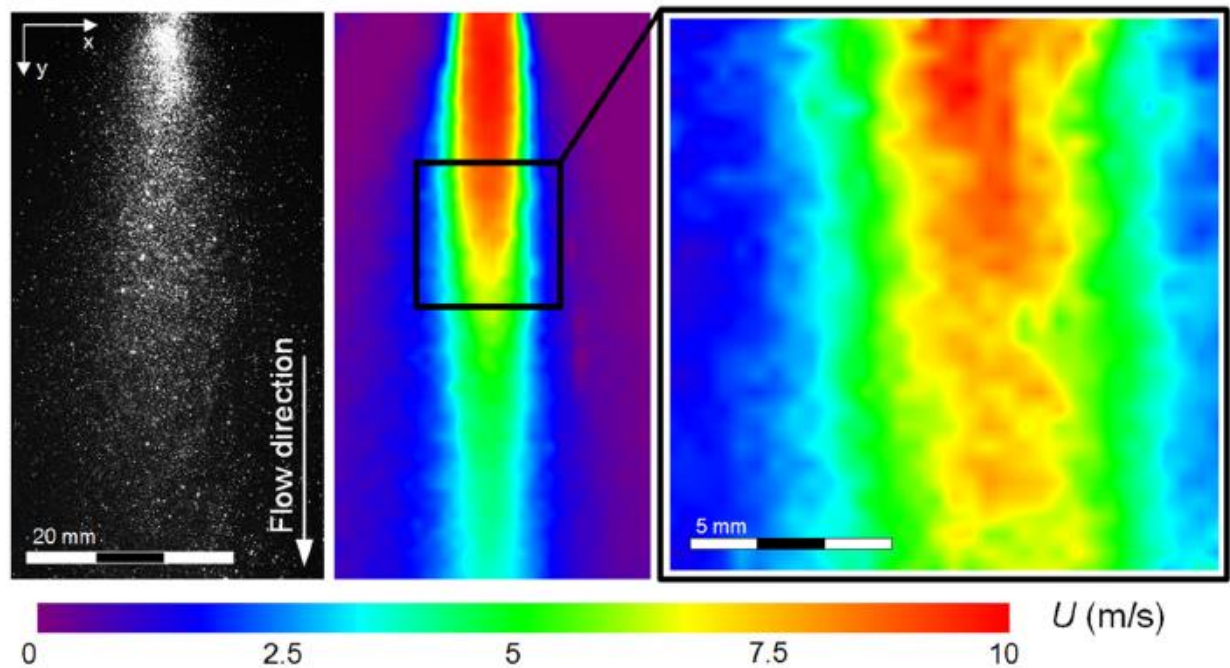


Fig. 4. Video frame of droplet flow and averaged two-component velocity field of the flow obtained using PIV (at the spray nozzle outlet)

The error of the droplet velocity measurement did not exceed 2%. Based on the results of the experiments, the average velocity of droplets in the recording area was 3–4 m/s.

3.2 Determination of specific flow rates

At least three experiments were performed for each initial pressure in the system and for each spray nozzle. The average volumetric flow rate was determined. Fig. 6 illustrates the average volume flow rate of water as a function of the initial pressure in the system. Fig. 6 shows that with a pressure increase P in the water spray system in the range of 0.5–2 bar, the mass flow rate of water through the nozzles increases almost linearly by 1.6 times for FMT-60 (maximum value of about 0.004 l/s) and by 2.1 times for FMT-100 (maximum value of about 0.007 l/s). To increase the volume flow rate of water in the system (up to 0.011

l/s), it is possible to use a combination of simultaneously operating FMT-60 and FMT-100 nozzles (Fig. 6).

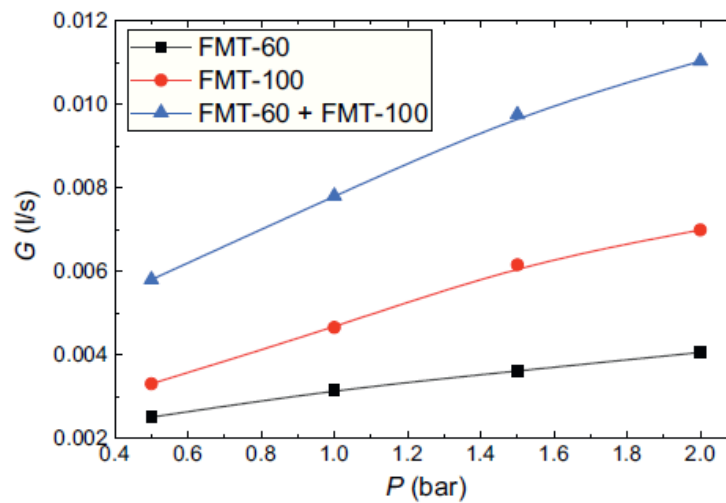


Fig. 6. Average volume flow rate of water vs. the initial pressure in the spray system

3.3 Determination of the specific water discharge density

To determine the specific water discharge density (I), the methods [19,20] were used. This parameter was determined by measuring the volume of liquid delivered per a unit of the surface area (cross-section of the measuring container) within a fixed time interval. Fig. 7 illustrates the appearance and scheme of the experimental setup. Fig. 8 shows the appearance and layout of the measuring containers.

The measuring containers were installed on the base of the setup (Fig. 7) according to the scheme presented in Fig. 8b. The measuring container No. 25 (Fig. 8b) was placed at a distance of 600 mm below the spray nozzle. The experiments involved the procedures described in [21].

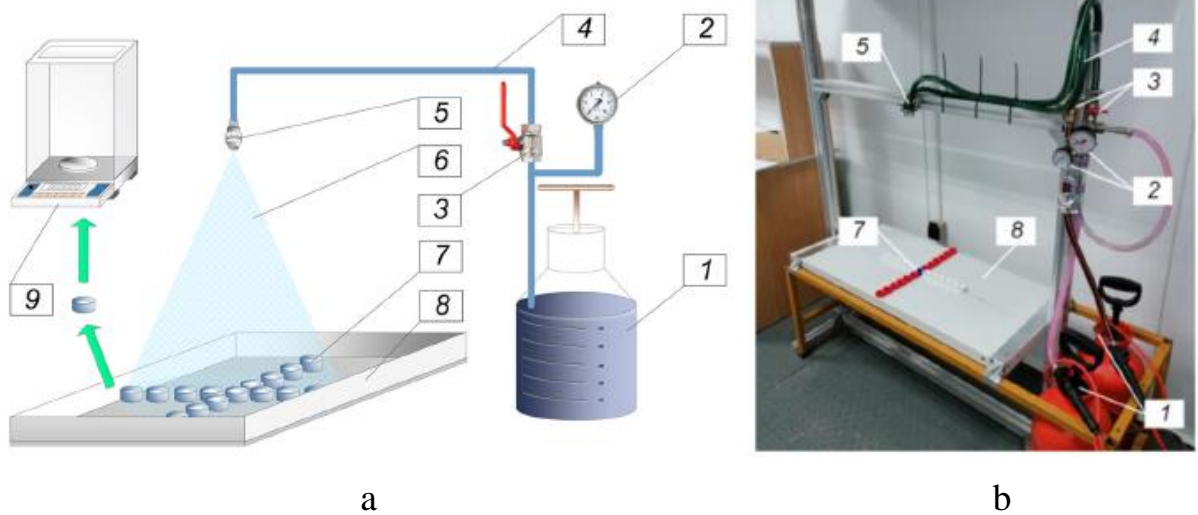


Fig. 7. Scheme (a) and exterior (b) of experimental setup to determine the specific water discharge density of spray nozzles: 1 – pressurized water cylinders; 2 – manometers; 3 – cutoff valves; 4 – water supply hoses; 5 – spray nozzles; 6 – aerosol flow; 7 – measuring containers; 8 – base; 9 – laboratory microbalance

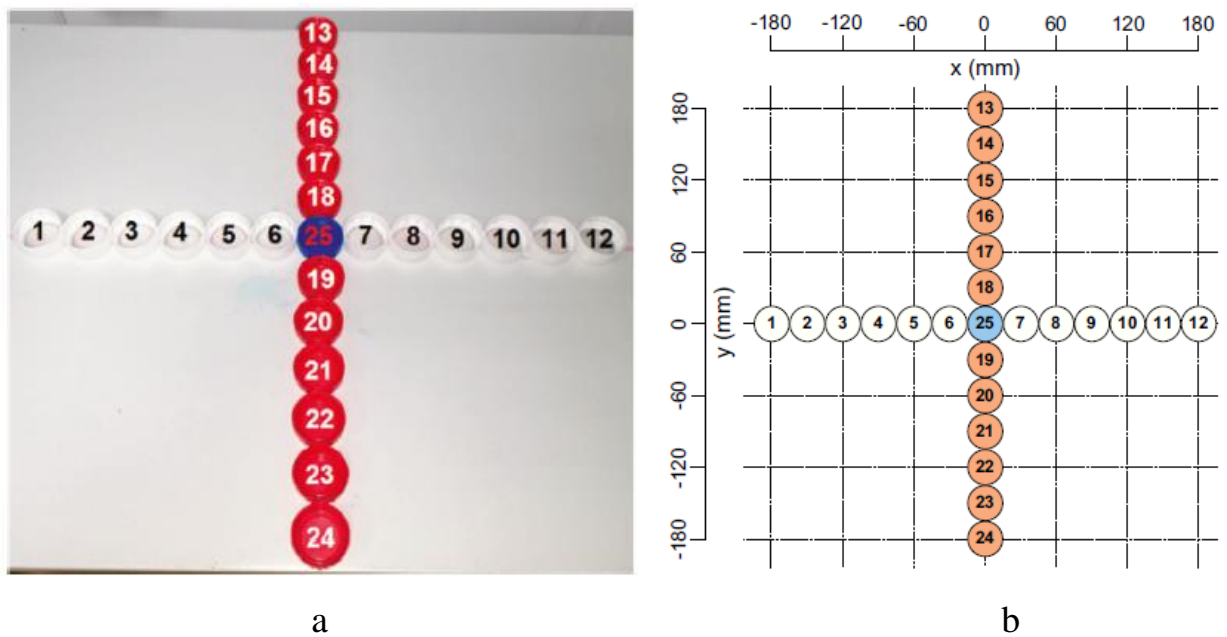


Fig. 8. Appearance (a) and layout (b) of measuring containers under the spray nozzle (measuring containers are numbered)

4 Results and discussion

Figs. 9–11 present the distributions of the specific water discharge density on x and y axes (Fig. 8b) derived from experimental studies. Figs. 9–11 show that

the values and the type of distribution of the specific water discharge density on x and y axes are mainly influenced by the pressure in the water spray system (in front of the nozzle). An increase in the pressure in the range of 0.5–2 bar was found to increase the maximum water discharge density almost tenfold when an FMT–60 nozzle was used (Fig. 9). When using an FMT–100 nozzle, on the other hand, an increase in the pressure reduced the maximum water discharge density fourfold (Fig. 9). However, the profile of the specific water discharge density distribution leveled out. It can also be seen (Figs. 9–11) that the specific discharge density distribution profiles were often not quite symmetrical. For this reason, the changes in the average radial water discharge density were determined (Figs. 12–14).

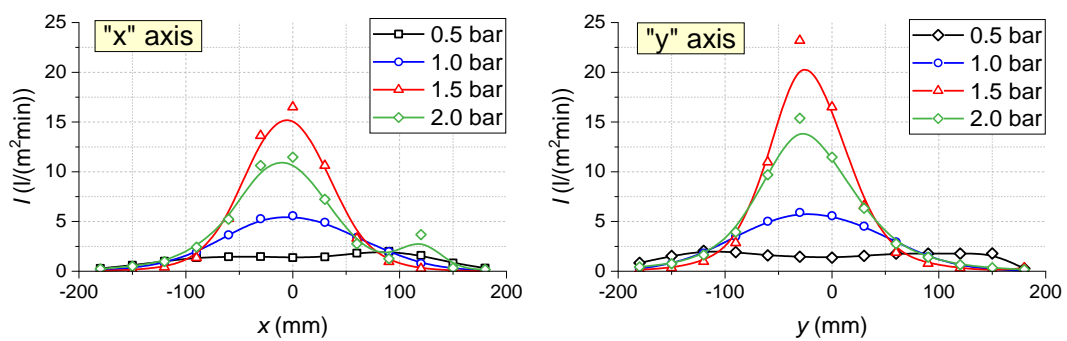


Fig. 9. Distribution of specific water discharge density of FMT-60 nozzle on x and y axes (about 600 mm from the nozzle) at different water pressures in the spray system (0.5–2 bar)

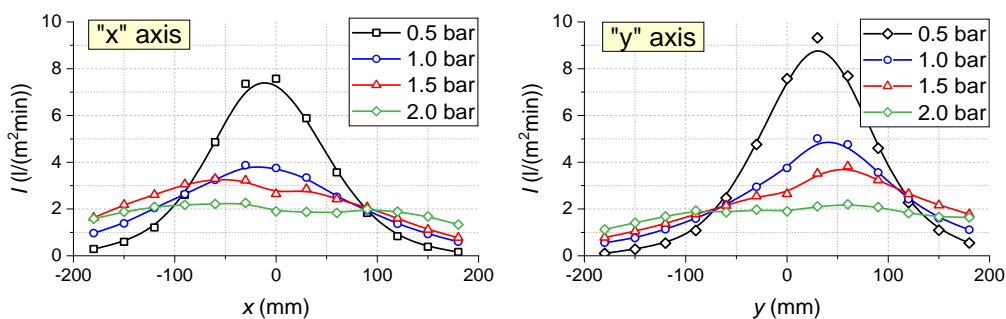


Fig. 10. Distribution of specific water discharge density of FMT-100 nozzle on x and y axes (about 600 mm from the nozzle) at different water pressures in the spray system (0.5–2 bar)

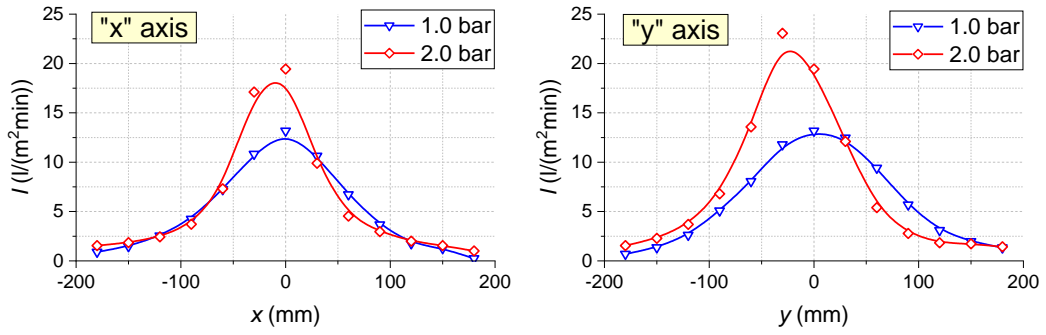


Fig. 11. Distribution of specific water discharge density of FMT-60 and FMT-100 nozzles on x and y axes (about 600 mm from the nozzles) at different water pressures in the spray system (1–2 bar)

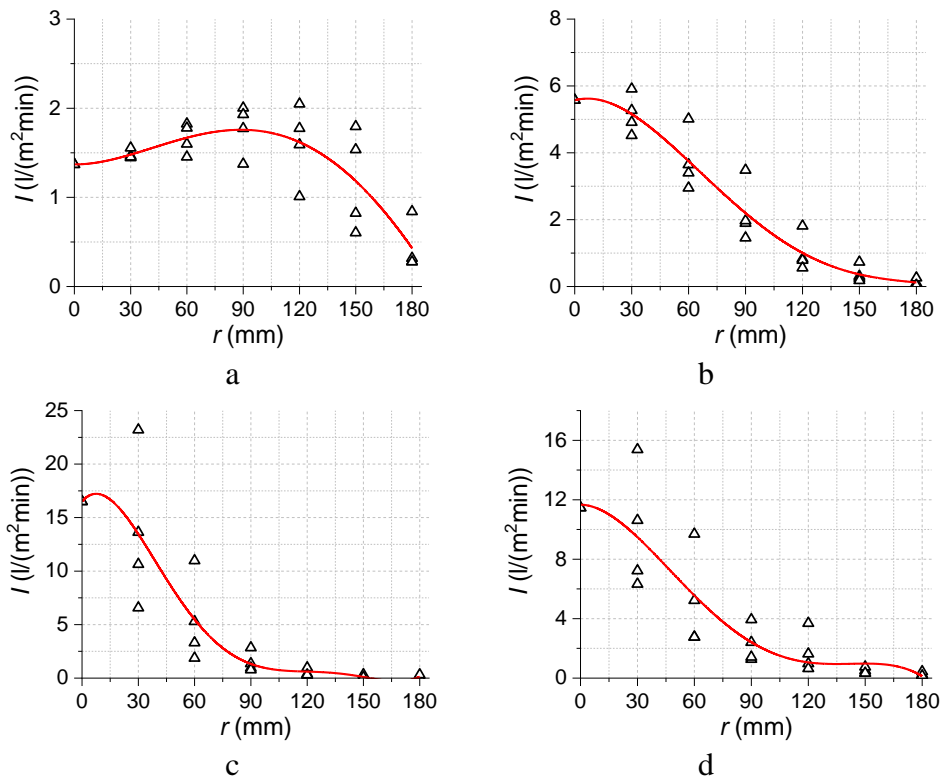


Fig. 12. Changes in the average radial specific water discharge density of FMT-60 nozzle (about 600 mm from the nozzle) at different water pressures in the spray system: a– 0.5 bar; b – 1 bar; c – 1.5 bar; d – 2 bar

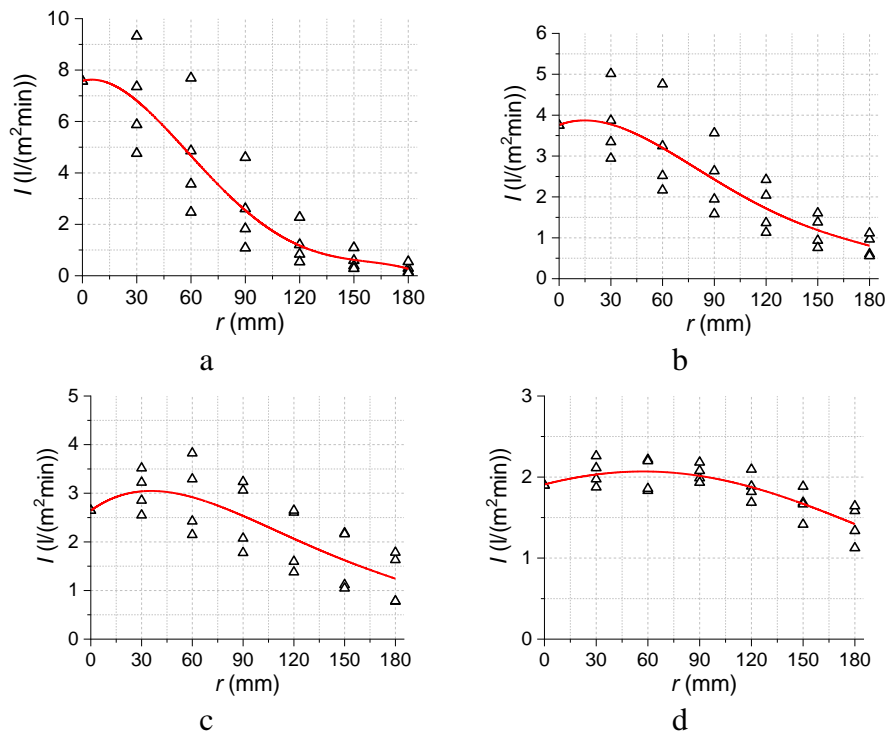


Fig. 13. Changes in the average radial specific water discharge density of FMT-100 nozzle (about 600 mm from the nozzle) at different water pressures in the spray system: a – 0.5 bar; b – 1 bar; c – 1.5 bar; d – 2 bar

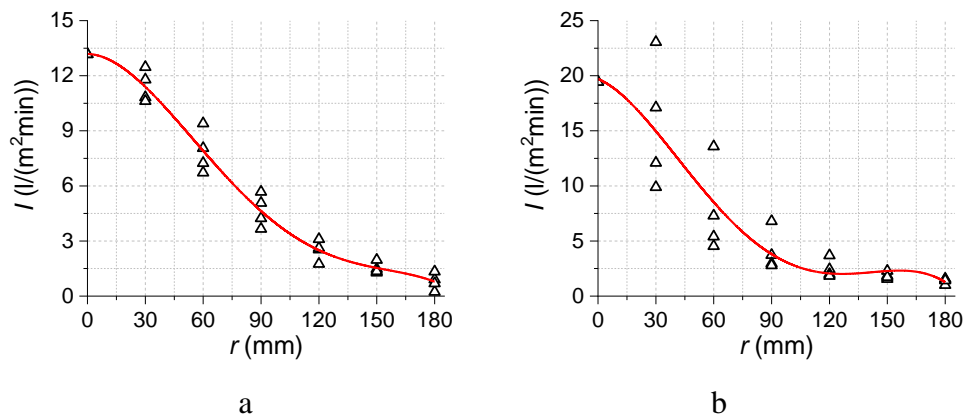


Fig. 14. Changes in the average radial specific water discharge density when using FMT-60 and FMT-100 nozzles (about 600 mm from the nozzles) simultaneously at different water pressures in the spray system: a – 1 bar; b – 2 bar

The analysis of Figs. 12–14 reveals that for FMT-60, the maximum specific water discharge density was characteristic of the central area (under the nozzle). The exception was when the water pressure in the system was $P \approx 0.5$ bar. With a greater distance in the radial direction, the specific water discharge density (at a

water pressure of 1–2 bar) decreased nonlinearly reaching almost zero at $r > 150$ mm. The pressure rise in the range of 0.5–2 bar increased the average specific water discharge density tenfold. The maximum specific water discharge density (about $18 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$) was achieved at a water pressure in the system of about 1.5 bar (Fig. 12). For an FMT-100 nozzle (Fig. 13), the average radial specific water discharge density varied in a narrow range at a system water pressure greater than 1.5 bar. Thus, to consider all possible cases of water discharge density distribution, in the subsequent fire-extinguishing experiments it was decided to use an FMT-60 nozzle at a pressure of 1.5 bar (to provide a variable area of water discharge density) and FMT-100 nozzle at a pressure of 1.5 bar (to provide a constant area of water discharge density). The averaged values of the specific water discharge density of spray nozzles were calculated at each pressure based on the results of the experiments (Figs. 12–14). The calculations were made for the range $r = 0\text{--}90$ mm, which corresponds to the size of model fires used in the experiments. Fig. 15 presents the calculation results.

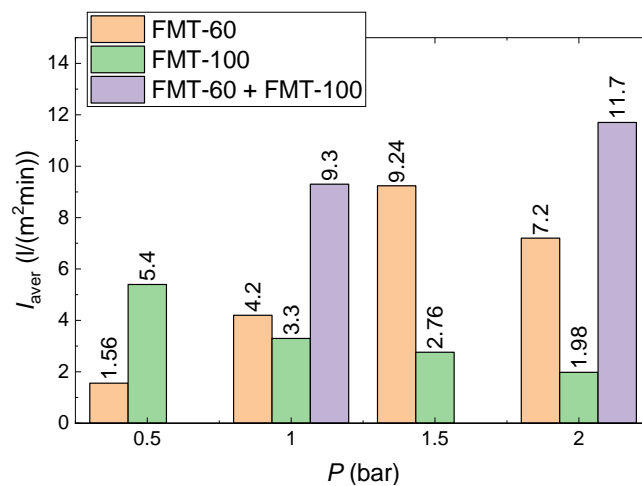


Fig. 15. Average specific water discharge density of spray nozzles (about 600 mm from spray nozzles) at different pressures in the water spray system

5 Conclusion

As a result of the conducted experiments, the lowest water discharge density was determined that is necessary and sufficient to extinguish model fires

involving materials catching fire in premises. It is important to consider this result when choosing the spray characteristics. Where faster extinguishing is required, it is advisable to use nozzles with increased specific water discharge density. In contrast, spray nozzles with low specific water discharge density should be used if it is necessary to minimize water consumption.

The minimum water discharge density (ψ) required to extinguish a model fire corresponded to the minimum specific water discharge density (I).

These results and others in [21] are useful in development of automatic fire extinguish system.

References

1. Swann, J.D.; Ding, Y.; Stoliarov, S.I. Characterization of Pyrolysis and Combustion of Rigid Poly(Vinyl Chloride) Using Two-Dimensional Modeling. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2019, 132, 347–361, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.12.011.
2. Sun, P.; Rodriguez, A.; Kim, W.I.; Huang, X.; Fernandez-Pello, C. Effect of External and Internal Heating on the Flame Spread and Phase Change of Thin Polyethylene Tubes. *Int. J. Therm. Sci.* 2021, 168, doi:10.1016/j.ijthermalsci.2021.107054.
3. Tang, Z.; Xu, G.; Yang, S.; Deng, J.; Xu, Q.; Chang, P. Fire-Retardant Foam Designed to Control the Spontaneous Combustion and the Fire of Coal: Flame Retardant and Extinguishing Properties. *Powder Technol.* 2021, 384, 258–266, doi:10.1016/j.powtec.2021.02.024.
4. Voytkov, I.S.; Kuznetsov, G. V.; Strizhak, P.A. The Critical Atomization Conditions of High-Potential Fire Suppressant Droplets in an Air Flow. *Powder Technol.* 2021, 384, 505–521, doi:10.1016/j.powtec.2021.02.039.
5. He, Q.; Ezekoye, O.A.; Li, C.; Lu, S. Ventilation Limited Extinction of Fires in Ceiling Vented Compartments. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2015, 91, 570–583, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.07.080.
6. Węgrzyński, W. Transient Characteristic of the Flow of Heat and

Mass in a Fire as the Basis for Optimized Solution for Smoke Exhaust. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2017, 114, 483–500, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.088.

7. Tugnoli, A.; Moricone, R.; Scarponi, G.E.; Cozzani, V. Effective Thermal Conductivity of Fibrous Fireproofing Materials. *Int. J. Therm. Sci.* 2019, 136, 107–120, doi:10.1016/j.ijthermalsci.2018.09.035.

8. Wang, X.; Tan, Q.; Wang, Z.; Kong, X.; Cong, H. Preliminary Study on Fire Protection of Window Glass by Water Mist Curtain. *Int. J. Therm. Sci.* 2018, 125, 44–51, doi:10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013.

9. Nmira, F.; Consalvi, J.L.; Kaiss, A.; Fernandez-Pello, A.C.; Porterie, B. A Numerical Study of Water Mist Mitigation of Tunnel Fires. *Fire Saf. J.* 2009, 44, 198–211, doi:10.1016/j.firesaf.2008.06.002.

10. Mehaddi, R.; Collin, A.; Boulet, P.; Acem, Z.; Telassamou, J.; Becker, S.; Demeurie, F.; Morel, J.-Y. Use of a Water Mist for Smoke Confinement and Radiation Shielding in Case of Fire during Tunnel Construction. *Int. J. Therm. Sci.* 2020, 148, doi:10.1016/j.ijthermalsci.2019.106156.

11. Ingason, H.; Li, Y.Z. Large Scale Tunnel Fire Tests with Different Types of Large Droplet Fixed Fire Fighting Systems. *Fire Saf. J.* 2019, 107, 29–43, doi:10.1016/j.firesaf.2019.04.007.

12. Arvidson, M. Large-Scale Water Spray and Water Mist Fire Suppression System Tests for the Protection of Ro-Ro Cargo Decks on Ships. *Fire Technol.* 2014, 50, 589–610, doi:10.1007/s10694-012-0312-7.

13. Yang, S.; Nie, W.; Lv, S.; Liu, Z.; Peng, H.; Ma, X.; Cai, P.; Xu, C. Effects of Spraying Pressure and Installation Angle of Nozzles on Atomization Characteristics of External Spraying System at a Fully-Mechanized Mining Face. *Powder Technol.* 2019, 343, 754–764, doi:10.1016/j.powtec.2018.11.042.

14. Kuznetsov, G.V.; Kropotova, S.S.; Voytkov, I.S.; Strizhak, P.A. Influence of the Component Composition of Extinguishing Fluids on the Droplet Distribution in an Aerosol Cloud. *Powder Technol.* 2022, 395, 838–849, doi:10.1016/j.powtec.2021.10.032.

15. LIU, Z.; KIM, A.K. A Review of Water Mist Fire Suppression

Technology: Part II-Application Studies. *J. Fire Prot. Eng.* 2001, 11, 16–42, doi:10.1106/MMGH-XUAG-HP5B-YTDG.

16. Kuznetsov, G.V.; Strizhak, P.A.; Volkov, R.S.; Vysokomornaya, O.V. Integral Characteristics of Water Droplet Evaporation in Higherature Combustion Products of Typical Flammable Liquids Using SP and IPI Methods. *Int. J. Therm. Sci.* 2016, 108, 218–234, doi:10.1016/j.ijthermalsci.2016.05.019.

17. Volkov, R.S.; Kuznetsov, G.V.; Strizhak, P.A. Influence of Droplet Concentration on Evaporation in a High-Temperature Gas. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2016, 96, 20–28, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.029.

18. Volkov, R.S.; Kuznetsov, G. V.; Stizhak, P.A. The Influence of Initial Sizes and Velocities of Water Droplets on Transfer Characteristics at High-Temperature Gas Flow. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2014, 79, 838–845, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.09.006.

19. Volkov, R.S.; Kopylov, N.P.; Kuznetsov, G. V.; Khasanov, I.R. Experimental Investigation of the Suppression of Crown and Ground Forest Fires. *J. Eng. Phys. Thermophys.* 2019, 92, 1453–1465, doi:10.1007/s10891-019-02064-9.

20. Voitkov, I.S.; Volkov, R.S.; Zhdanova, A.O.; Kuznetsov, G.V.; Nakoryakov, V.E. Physicochemical Processes in the Interaction Of Aerosol with the Combustion Front of Forest Fuel Materials. *J. Appl. Mech. Tech. Phys.* 2018, 59, 891–902, doi:10.1134/S0021894418050176.

21. Chvanov, S.V.; Kuznetsov, G. V.; Stizhak, P.A.; Volkov, R.S. The necessary water discharge density to suppress fires in premises. *Powder Technol.* 2022, 408, doi:10.1016/j.powtec.2022.117707.

Приложение Б

(справочное)

Листинг программного кода приложения «Тушение_DemoV»

```
namespace ChvanovForm
{
    public partial class Proga : Form
    {
        public Proga()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {}
        private void panel1_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
        {}
        private void panel3_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
        {}
        private void label1_Click(object sender, EventArgs e)
        {}
        private void label2_Click(object sender, EventArgs e)
        {}
        private void panel5_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
        {}
        private void Pokazateli_Click(object sender, EventArgs e)
        {}
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {}
        private void Kef_Click(object sender, EventArgs e)
        {}
        private void Pokazateli_Click_1(object sender, EventArgs e)
        {}
        private void Drop1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
        // вводим запрет на повтор в других листах одного и того же типа материала
        {
            if (Drop1.SelectedIndex==0 && (Drop2.SelectedIndex==0 || Drop3.SelectedIndex==0))
                { Drop1.SelectedIndex = -1; }
            if (Drop1.SelectedIndex == 1 && (Drop2.SelectedIndex == 1 || Drop3.SelectedIndex ==
1))
                { Drop1.SelectedIndex = -1; }
            if (Drop1.SelectedIndex == 2 && (Drop2.SelectedIndex == 2 || Drop3.SelectedIndex ==
2))
                { Drop1.SelectedIndex = -1; }
        }
        private void Drop2_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
        // вводим запрет на повтор в других листах одного и того же типа материала
        {
            if (Drop2.SelectedIndex == 0 && (Drop1.SelectedIndex == 0 || Drop3.SelectedIndex ==
0))
```

```

    { Drop2.SelectedIndex = -1; }
    if (Drop2.SelectedIndex == 1 && (Drop1.SelectedIndex == 1 || Drop3.SelectedIndex ==
1))
    { Drop2.SelectedIndex = -1; }
    if (Drop2.SelectedIndex == 2 && (Drop1.SelectedIndex == 2 || Drop3.SelectedIndex ==
2))
    { Drop2.SelectedIndex = -1; }
    }
    private void Drop3_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
    // вводим запрет на повтор в других листах одного и того же типа материала
    {
    if (Drop3.SelectedIndex == 0 && (Drop2.SelectedIndex == 0 || Drop1.SelectedIndex ==
0))
    { Drop3.SelectedIndex = -1; }
    if (Drop3.SelectedIndex == 1 && (Drop2.SelectedIndex == 1 || Drop1.SelectedIndex ==
1))
    { Drop3.SelectedIndex = -1; }
    if (Drop3.SelectedIndex == 2 && (Drop2.SelectedIndex == 2 || Drop1.SelectedIndex ==
2))
    { Drop3.SelectedIndex = -1; }
    }
    private void CloseButton_Click(object sender, EventArgs e)
    {
    this.Close();
    }
    private void TAU_Click(object sender, EventArgs e)
    {}
    private void label1_Click_1(object sender, EventArgs e)
    {}
    private void textBox3_TextChanged(object sender, EventArgs e)
    {}
    private void label2_Click_1(object sender, EventArgs e)
    {}
    private void Button1_Click(object sender, EventArgs e)
    // описываем переменные (k - индекс выбранного материала в каждом дроплисте)
    int k1 = Drop1.SelectedIndex;
    int k2 = Drop2.SelectedIndex;
    int k3 = Drop3.SelectedIndex;
    string derevo, lenol, plastik, gorit, nepreriv, impulse, use;
    double a, a1, b, b1, c, c1, KEF;
    double taua, taua1, taub, taub1, tauc, tauc1, TAU;
    double tda, tda1, tdb, tdb1, tdc, tdc1, TD;
    // вводим переменные типа string для создания сообщений в рекммендациях
    derevo = ""; lenol = ""; plastik = ""; gorit = "В настоящее время горит";
    use = "Рекомендовано применять импульсный метод тушения. На данный момент
выбрано: ";
    a = 1; a1 = 1; b = 1; b1 = 1; c = 1; c1 = 1;
    taua = 0; taua1 = 0; taub = 0; taub1 = 0; tauc = 0; tauc1 = 0;
    tda = 0; tda1 = 0; tdb = 0; tdb1 = 0; tdc = 0; tdc1 = 0;
    //описываем ситуации и чему равны параметры при этих ситуациях
    if ((k1 == 0 || k2 == 0 || k3 == 0) && Drop4.SelectedIndex == 0)
    {

```

```

    a = 0.71;
    taua = 17.51;
    tda = 114;
    derevo = " дерево";
    gorit = gorit + derevo;
}
if ((k1 == 0 || k2 == 0 || k3 == 0) && Drop4.SelectedIndex == 1)
{
    a1 = 0.91;
    taua1 = 11.06;
    tda1 = 142;
    derevo = " дерево";
    gorit = gorit + derevo;
}
if ((k1 == 1 || k2 == 1 || k3 == 1) && Drop4.SelectedIndex == 0)
{
    b = 0.3;
    taub = 1.38;
    tdb = 9;
    lenol = ", линолеум";
    gorit = gorit + lenol;
}
if ((k1 == 1 || k2 == 1 || k3 == 1) && Drop4.SelectedIndex == 1)
{
    b1 = 1;
    taub1 = 0.37;
    tdb1 = 10;
    lenol = ", линолеум";
    gorit = gorit + lenol;
}
if ((k1 == 2 || k2 == 2 || k3 == 2) && Drop4.SelectedIndex == 0)
{
    c = 0.94;
    tauc = 0.92;
    tdc = 6;
    plastik = ", пластик";
    gorit = gorit + plastik;
}
if ((k1 == 2 || k2 == 2 || k3 == 2) && Drop4.SelectedIndex == 1)
{
    c1 = 1;
    tauc1 = 0.31;
    tdc1 = 17;
    plastik = ", пластик";
    gorit = gorit + plastik;
}
//рассчитываем параметры: Кеф как произведение, тау, и время тления td как
максимум из выборки
KEF = Math.Round ((a * a1 * b * b1 * c * c1),2);
KEFtext.Text = KEF.ToString();
double[] TAUarray = {taua, taua1, taub, taub1, tauc, tauc1 };
double maxTAU = TAUarray[0];

```

```

for (int i = 1; i < TAUarray.Length; i++)
    if (TAUarray[i] > maxTAU)
    {
        maxTAU = TAUarray[i];
    }
TAUtext.Text = maxTAU.ToString() + " л/м^2";
double[] TDarray = { tda, tda1, tdb, tdb1, tdc, tdc1 };
double maxTD = TDarray[0];
for (int i = 1; i < TDarray.Length; i++)
    if (TDarray[i] > maxTD)
    {
        maxTD = TDarray[i];
    }
TDtext.Text = maxTD.ToString() + " с";
//создаем рекомендации
if (Drop4.SelectedIndex == 1)
{
    TextRec.Text = gorit + ". " + use + "импульсное тушение. Параметры: (Kef = " +
KEFtext.Text +
        "; Ψ = " + TAUtext.Text + "; Td = " + TDtext.Text + ")";
}
else
    TextRec.Text = gorit + ". " + use + "непрерывное тушение. Параметры: Kef = " +
KEFtext.Text +
        "; Ψ = " + TAUtext.Text + "; Td = " + TDtext.Text + ".";
//случай, если нажата кнопка применить, а ничего не выбрано, чтобы не было
расчетов
if ((k1 == -1 && k2 == -1 && k3 == -1) || Drop4.SelectedIndex == -1)
{
    KEFtext.Text = "0";
    TAUtext.Text = "0";
    TDtext.Text = "0";
    TextRec.Text = "";
}
}
private void TDtext_Click(object sender, EventArgs e)
{
}
private void Button2_Click(object sender, EventArgs e)
//очищаем все при нажатии кнопки "Отменить"
{
    Drop1.SelectedIndex = -1;
    Drop2.SelectedIndex = -1;
    Drop3.SelectedIndex = -1;
    Drop4.SelectedIndex = -1;
    KEFtext.Text = "";
    TAUtext.Text = "";
    TDtext.Text = "";
    TextRec.Text = "";
}
}
}

```