

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

20.03.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Противопожарные системы

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Интеллектуальное оборудование для пожаротушения

Обучающийся

А.С. Саркисян

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Чурсаев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе – 96 стр., содержащих 3 рис., 20 табл., 35 библиографических источников, 1 приложение.

Ключевые слова: интеллектуальное оборудование, роботизированные модули, пожарная безопасность, системы обнаружения возгорания, автоматизированное пожаротушение, оповещение, управление рисками.

Объектом исследования выступает комплекс высокотехнологичных средств пожаротушения, включая современные датчики тепла и дыма, роботизированные огнетушащие установки и интегрированные системы управления, обеспечивающие оперативную локализацию и ликвидацию возгораний.

Предметом исследования являются методы и средства интеграции интеллектуального оборудования в традиционную инфраструктуру пожарной охраны, а также алгоритмы и организационные решения, позволяющие повысить точность обнаружения пожаров и снизить время реагирования пожарных подразделений.

Работа содержит введение, три основных раздела с подразделами, а также разделы, посвященные охране труда, охране окружающей среды, защите в чрезвычайных ситуациях и оценке эффективности внедряемых мероприятий.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определен предмет исследования, приведены методы и методологическая база.

В первом разделе рассматриваются общие принципы пожаротушения, анализируются существующие технологии и традиционные средства ликвидации пожаров, дается оценка их недостатков и обосновывается целесообразность применения интеллектуальных систем.

Во втором разделе описаны особенности проектирования и внедрения роботизированных модулей пожаротушения, представлены расчетные

параметры оснащения пожарных частей современными датчиками и системами прогнозирования динамики огня, а также алгоритмы взаимодействия с диспетчерскими пунктами.

В третьем разделе приводятся решения по модернизации структуры пожарных депо и интеграции интеллектуального оборудования в существующие системы, обосновывается выбор технических средств, рассчитана технико-экономическая эффективность и дана комплексная оценка результатов применения новых технологий.

В заключительных частях изложены основные положения по охране труда, экологической безопасности и защите в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации роботизированных установок, а также сформированы итоги и выводы, подтверждающие перспективность и эффективность использования интеллектуального оборудования для пожаротушения.

## Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта защиты.....	12
1.1 Исследование пространственной структуры объекта.....	12
1.2 Архитектурно-планировочные решения и специфика ресурсного обеспечения.....	17
1.3 Техническое оснащение, эксплуатационные требования и территориальное взаимодействие.....	22
2 Интеллектуальное оборудование для пожаротушения.....	29
2.1 Теоретико-практические принципы вычисления расхода воды и пенообразователя для начальной стадии тушения.....	29
2.2 Расчетный анализ потребности в силах и средствах для тушения комплексных возгораний.....	36
2.3 Методы обоснованного определения параметров времени реагирования и локализации очага.....	42
3 Положительные и отрицательные моменты в использовании интеллектуального оборудования для пожаротушения.....	49
3.1 Основы организации интеллектуальной инфраструктуры защиты... ..	49
3.2 Алгоритмы и расчеты параметров оповещения и эвакуации людей. ..	57
3.3 Математические расчеты и организационные аспекты управления противопожарными клапанами.....	62
4 Охрана труда.....	69
5 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность.....	76
6 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности.....	81
Заключение.....	85
Список используемой литературы и используемых источников.....	87
Приложение А Паспорт безопасности.....	91

## Введение

Проблема повышения эффективности и оперативности пожаротушения в современных условиях приобретает все большую актуальность. Увеличение масштабов промышленного и гражданского строительства, усложнение технологических процессов, рост числа высотных и особо важных объектов требуют внедрения высокотехнологичных средств пожарной безопасности. При этом традиционные системы обнаружения и ликвидации возгораний нередко оказываются недостаточно эффективными, что стимулирует появление и развитие интеллектуального оборудования для пожаротушения, способного самостоятельно оценивать ситуацию и принимать решения в режиме реального времени.

Предварительный анализ показал, что отдельные аспекты внедрения систем интеллектуального пожаротушения активно изучаются: разработаны высокочувствительные датчики и системы управления, ведутся исследования по применению роботов-огнетушителей, а также дронов для оценки обстановки на начальной стадии пожара. Однако комплексный подход к организации пожарной безопасности с учетом полноценной интеграции «умных» технологий в инфраструктуру пожарных депо освещен еще недостаточно.

Многие научные и нормативные источники рассматривают либо вопросы расчета сил и средств для тушения пожара, либо особенности проектирования систем сигнализации, либо частные аспекты технических средств пожаротушения. Систематизированных работ, посвященных практической реализации интеллектуальных комплексов, которые могут и обнаруживать, и ликвидировать возгорания в рамках действующего пожарного депо, пока недостаточно.

Объектом исследования выступает Пожарное депо ПСЧ № 19, в котором используются традиционные средства пожаротушения и системы оповещения.

Предметом исследования являются методы и средства внедрения интеллектуального оборудования для пожаротушения в структуру пожарного депо, включая автоматизированные комплексы обнаружения, самоходные и дистанционно управляемые огнетушащие модули, а также организационные аспекты их использования.

Цель исследования заключается в обосновании и разработке концепции интеграции интеллектуальных систем пожаротушения в Пожарное депо ПСЧ № 19, позволяющей повысить эффективность реагирования на чрезвычайные ситуации и уменьшить вероятность человеческих ошибок при ликвидации пожаров.

Задачи исследования включают:

- анализ действующих технологий пожаротушения и средств обнаружения возгораний, применяемых в подразделениях МЧС России;
- определение особенностей и требований к интеллектуальному оборудованию для пожаротушения в условиях эксплуатации реального пожарного депо;
- разработку и обоснование структурной схемы интегрированной интеллектуальной системы, включающей программно-аппаратные комплексы обнаружения и тушения;
- оценку экономической эффективности и влияния предлагаемых решений на повышение безопасности личного состава и снижение последствий пожаров;
- формирование рекомендаций по внедрению и сопровождению интеллектуальных систем в работе Пожарного депо ПСЧ № 19.

Гипотеза исследования состоит в том, что комплексное применение интеллектуального оборудования, от высокоточных датчиков и систем прогнозирования распространения огня до автономных установок тушения, позволит существенно повысить результативность локализации возгораний и минимизировать ущерб. Предполагается, что данные решения окажутся

эффективными с точки зрения эксплуатационных затрат и обеспечат снижение времени реагирования в критические моменты развития пожара.

В процессе исследования используются методы литературного анализа научных, нормативных и патентных источников по вопросам пожарной безопасности, расчеты количественных показателей эффективности тушения, компьютерное моделирование сценариев распространения пожара, а также анализ статистики выездов подразделений Пожарного депо ПСЧ № 19. Практическая составляющая заключается в систематизации данных по существующим средствам интеллектуального обнаружения и тушения, в разработке предложений по их адаптации под конкретные условия работы данного депо.

Теоретической и методологической основой работы выступают отечественные и зарубежные исследования в сфере пожаротушения, управления рисками, робототехники, а также нормативно-правовые документы, регламентирующие деятельность пожарных подразделений. Опираясь на современные концепции интеллектуальных систем безопасности и накопленный практический опыт внедрения отдельных «умных» технологий, данная работа формирует целостный подход к повышению эффективности пожарной охраны.

Научная новизна заключается в разработке интегрированной модели интеллектуального оборудования для пожаротушения, учитывающей реальные условия функционирования пожарного депо и позволяющей совместить традиционные методы борьбы с огнем с современными робототехническими и информационными системами, что дает возможность оперативно реагировать на динамику возгорания и оптимизировать распределение ресурсов в ходе пожаротушения.

Практическая значимость обусловлена возможностью тиражирования полученных решений в других пожарных депо, заинтересованных в повышении уровня автоматизации и безопасности. В случае успешной реализации предлагаемых методов и инструментов потенциально снижаются

риски для жизни личного состава, улучшаются показатели по ликвидации возгораний и уменьшаются сопутствующие материальные потери.

Структура работы отражает логику достижения поставленной цели. Анализируются современное состояние пожарной безопасности и существующие интеллектуальные технологии в сфере пожаротушения, затем дается характеристика объекта защиты – Пожарного депо ПСЧ № 19. Также описываются ключевые инновации, механизмы их интеграции в организационную структуру депо, а также требования к расчету сил и средств для эффективного тушения. Завершающие разделы посвящены оценке эффективности внедрения интеллектуального оборудования, обсуждению положительных и отрицательных сторон эксплуатации подобных систем и формулированию выводов с рекомендациями по дальнейшему совершенствованию пожарной безопасности.

## Термины и определения

АЦ – автоцистерна.

БПП – бытовое производственное помещение.

ГКП-2 – главный склад метанола № 2.

МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

ПГ – пожарный гидрант.

ПСЧ – пожарно-спасательная часть.

СИЗ – средства индивидуальной защиты.

УПТнСТ – учебно-практический тренировочный и специализированный транспортный гараж.

CFD (англ. Computational Fluid Dynamics) – вычислительная гидрогазодинамика.

CO – оксид углерода (угарный газ).

H<sub>2</sub>S – сероводород.

NO<sub>2</sub> – диоксид азота.

NO<sub>x</sub> – оксиды азота.

Интеллектуальное оборудование для пожаротушения – «совокупность высокотехнологичных автоматизированных и роботизированных средств, способных обнаруживать возгорание, анализировать условия развития пожара и принимать решения о способе его тушения с минимальным участием человека» [15].

Роботизированный модуль пожаротушения – «автономная или дистанционно управляемая установка, оснащенная сенсорными и исполнительными механизмами для подачи огнетушащего вещества и мониторинга обстановки в зоне пожара» [20].

Автоматическая установка пожаротушения – «комплекс технических средств, предназначенных для автоматического обнаружения пожара и подачи огнетушащего вещества с последующим контролем процесса тушения без участия человека» [6].

Адресная пожарная сигнализация – «система противопожарной защиты, в которой каждая точка обнаружения (извещатель) имеет индивидуальный адрес, что обеспечивает точную локализацию места возгорания и оперативное управление оповещением и пожаротушением» [13].

Система оповещения – «совокупность звуковых, световых и (или) речевых устройств, автоматически или вручную приводимых в действие при возникновении пожара и предназначенных для информирования людей о необходимости эвакуации» [9].

Дистанционное управление – «способ контроля и активации автоматизированных или роботизированных установок пожаротушения, при котором оператор осуществляет запуск и регулировку оборудования на расстоянии посредством проводных или беспроводных каналов связи» [24].

Пожарная безопасность – «состояние защищенности людей, материальных и нематериальных ценностей от опасных факторов пожара, достигаемое комплексом организационных, инженерно-технических и правовых мер» [11].

Пожарный риск – «вероятность возникновения пожара и масштабность его негативных последствий для жизни и здоровья людей, а также для окружающей среды и имущества» [19].

Охрана труда – «система мер и мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включая обеспечение безопасных условий труда и профилактику несчастных случаев» [13].

Условия труда – «совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность, здоровье и безопасность работающих» [6].

## **1 Характеристика объекта защиты**

### **1.1 Исследование пространственной структуры объекта**

Научное осмысление особенностей расположения ПСЧ № 19 требует комплексного рассмотрения инфраструктурных, технологических и организационных факторов, влияющих на доступ пожарных подразделений к местам потенциального возгорания, а также на быстроту эвакуации транспортных средств и личного состава при чрезвычайной ситуации.

В ходе обобщения исходных данных, связанных с анализом генерального плана, планировки прилегающей территории и конфигурации инженерных сетей, выявляются критические расстояния до ключевых объектов, которые могут существенно определить скорость реагирования и эффективности тушения пожаров.

Рассмотрение технологических требований к пожарному депо включает тщательное изучение текущей нагрузки на имеющиеся ресурсы, а также определение потенциального резерва пропускной способности для размещения специальной техники и хранения вспомогательных материалов, таких как пенообразователь или метанол, используемый для технологических нужд на прилегающей территории. Подобная постановка вопроса позволяет оценить степень готовности депо к экстремальным ситуациям, требующим максимально быстрого вмешательства [19].

Отсутствие достаточной статистики по специфическим видам возгораний вблизи исследуемого объекта не исключает необходимость моделирования вероятностных сценариев, учитывающих неравномерность пожарной опасности в промышленной зоне и особенности взаимодействия с потенциалом котельной или иных смежных построек. Значительная роль отводится учетно-аналитическим показателям, ориентированным на определение временных интервалов, связанных с оповещением, выездом и прибытием первых расчетов к потенциальному источнику возгорания.

Обозначенные аспекты взаимосвязи между логистическими маршрутами и безопасными зонами для разворота техники требуют детального изучения условий проезда автотранспорта пожарной части. Актуальность данного аспекта усиливается тем, что при развертывании выездных подразделений осуществляется перемещение не только основной пожарной машины (АЦ 19 ПСЧ (119) либо АЦ 19 ПСЧ (319)), но и поддерживающих единиц техники, включая специальные автомобильные средства для транспортировки пеноподобных веществ и вспомогательных агрегатов. В случае необходимости перекрытия дорог или изменения схем движения в условиях экстремальной ситуации должна быть возможность оперативного перенаправления потоков техники.

Рациональное размещение склада пенообразователя на дистанции 10 м от основного корпуса ПСЧ № 19 отражает стремление минимизировать риски распространения огня на материалы, используемые при формировании пены в ходе тушения. Аналогичным образом, расстояние порядка 70 м между АЦ 19 ПСЧ (119) и АЦ 19 ПСЧ (319) учитывает необходимость одновременного функционирования нескольких расчетов в условиях ограниченного пространства.

Склад метанола ГКП-2, расположенный на удалении приблизительно 200 м от гаража УПТнСТ, представляет дополнительный источник потенциальной пожароопасности, что требует внедрения усиленных мер по контролю состояния противопожарной безопасности. Тщательный контроль емкостей с метанолом предполагает регулярную проверку герметичности, а также соблюдение строгих регламентов по обращению с легковоспламеняющимися жидкостями, особенно при перекачке или хранении больших объемов.

Наблюдение за целостностью котельной, БПП ГКП-2 и других прилегающих хозяйственных зданий, находящихся в радиусе 50-300 м, осуществляется в рамках общей стратегии предупреждения вторичных очагов возгорания. Присутствие учебной башни вблизи склада пенообразователя на

дистанции 200 м предоставляет пожарным дополнительную возможность для тренировки и отработки сценариев тушения, включая применение разных типов пенообразователей и других химических реагентов.

Расчетно-аналитическая часть при рассмотрении пространственной структуры объекта должна учитывать принципиальную значимость путей эвакуации личного состава в случае возникновения чрезвычайной ситуации внутри самого депо. Пожарное депо выступает не только в роли базы для размещения техники, но и в роли оперативного центра управления, где работают диспетчеры, аналитики и другие специалисты. Обеспечение безопасности в помещении ПСЧ № 19 подразумевает установку современных систем дымоудаления, аварийного энергоснабжения, а также регулярную проверку работоспособности противопожарных перегородок и дверей.

С целью формирования системного представления об объекте целесообразно отразить основные сведения в виде сводной таблицы. Подход к систематизации данных позволяет упорядочить параметры, относящиеся к удаленности объектов друг от друга, объемам хранения пожароопасных веществ, а также номинальным значениям пропускной способности дорог.

В таблице 1 представлены основные характеристики взаимного расположения зон исследуемого объекта.

Таблица 1 – Основные характеристики взаимного расположения зон исследуемого объекта

Наименование участка	Удаленность от ПСЧ № 19	Предполагаемая нагрузка	Примечания
Склад пенообразователя	10 м	1 т хранения	Требуется повышенного контроля
АЦ 19 ПСЧ (119)	70 м	2 боевых расчета	Приоритет выезда первым
АЦ 19 ПСЧ (319)	70 м	1 боевой расчет	Резервное подразделение
Склад метанола ГКП-2	200 м	5 м <sup>3</sup>	Легковоспламеняющиеся вещества
Котельная	50 м	–	Источник тепловых коммуникаций
Учебная башня	200 м	–	Место тренировочных мероприятий

Показатели удаленности не являются единственным фактором, влияющим на оперативность прибытия к очагу, поскольку рельеф местности, наличие перекрытий дорог, а также погодные условия могут вносить существенные коррективы в сроки и маршруты передвижения.

Рациональная организация логистической структуры пожарного депо предполагает постоянный мониторинг и оценку изменений инфраструктуры, в том числе ремонтных работ на подъездных путях, реконструкции инженерных коммуникаций или возведения новых сооружений, которые способны затруднить продвижение техники к месту происшествия [3].

Повышенное внимание следует уделять координации действий между ПСЧ № 19 и другими структурами, отвечающими за безопасность территории, поскольку любые задержки или недоразумения в информационном обмене приводят к потере драгоценных секунд, а иногда и минут, способных сыграть решающую роль в спасении людей и имущества. Тесная интеграция с диспетчерскими системами вышестоящих органов управления, а также использование современных цифровых технологий картографирования позволяют оптимизировать маршруты выезда и повысить точность планирования.

Целесообразность размещения теплодымокамеры на расстоянии около 70 м от основного здания ПСЧ № 19 диктуется необходимостью практической отработки действий пожарных расчетов по выявлению источников возгорания в условиях задымления. Наличие подобного тренировочного комплекса является существенным подспорьем в повышении квалификации личного состава, поскольку регулярные учения в условиях, максимально приближенных к реальным, способствуют совершенствованию навыков ориентирования и принятия решений.

Организация гаража УПТнСТ, расположенного вплотную к зданию депо, призвана обеспечивать оперативную готовность специальной техники к немедленному выезду. Автомобильные средства, хранящиеся в данном гараже, проходят регулярное техническое обслуживание с целью поддержки

их в исправном состоянии, чтобы при любой нештатной ситуации расчет мог покинуть депо без промедления и приступить к непосредственному тушению или оказанию помощи при дорожно-транспортных происшествиях.

Высокий уровень готовности объекта к реагированию в экстремальных обстоятельствах не сводится лишь к техническим характеристикам автопарка. Успешное функционирование ПСЧ № 19 определяется также четкой организацией труда личного состава, регламентацией режимов дежурств и обеспечением надлежащей физической и психологической подготовки.

Многопрофильный характер задач, стоящих перед современными пожарными подразделениями, охватывает не только ликвидацию возгораний, но и проведение спасательных работ различной природы [14]. Поэтому в рамках анализа пространственной структуры следует учитывать многофункциональность здания ПСЧ № 19, предназначенного для подготовки персонала, хранения вооружения, организации связи и управления, а также проведения регулярных учений.

Принципы научной методологии, применяемые в рамках данного исследования, опираются на инженерно-технические нормы, установленные отечественными и зарубежными стандартами, и включают в себя системный подход к оценке уровня пожарной безопасности. Соответствующие требования детализируются в нормах проектирования пожарных частей, регламентах эксплуатации оборудования и методиках расчета временных параметров выезда. Использование справочных материалов по физико-химическим свойствам пенообразователя, а также анализ возможных сценариев воспламенения метанола позволяют объективно оценить риски, возникающие в процессе эксплуатации [23].

Учет всех обозначенных аспектов, связанных с конфигурацией объекта и степенью его оснащенности, дает основу для дальнейших разделов научной работы, где планируется рассмотреть интеллектуальное оборудование для пожаротушения, его преимущества и ограничения. Методологический фундамент, заложенный в данной главе, ориентирован на взаимосвязь между

топологией территории и техническими решениями в области пожарной безопасности, что в перспективе позволит детально обосновать эффективность современных технологий предотвращения и ликвидации возгораний.

## **1.2 Архитектурно-планировочные решения и специфика ресурсного обеспечения**

Обоснование принятой планировочной структуры ПСЧ № 19, расположенной в промышленной зоне, отражает совокупное стремление обеспечить оптимальные условия для размещения пожарной техники, складов пенообразователя и метанола, тренировочных объектов (учебная башня, теплодымокамера) и вспомогательной инфраструктуры (котельная, БПП ГКП-2).

Организационные аспекты проектирования территории, где расположено ПСЧ № 19, связаны со стандартизированными требованиями к безопасному расстоянию между зданиями различного класса опасности, учетом ветровой розы и зонированием пространства в целях предотвращения распространения огня при возникновении аварийных ситуаций.

На рисунке 1 «План-схема расположения объекта на местности» можно проследить продуманность архитектурных решений, учитывающих несколько радиусов расстояний до потенциально опасных зон.

Пожарное депо, имеющее категорию III по степени огнестойкости, располагается таким образом, чтобы интервалы между основным зданием и соседними сооружениями составляли величины, препятствующие мгновенному переносу тепловой энергии. Анализ параметров расстояний показывает, что склад пенообразователя вынесен за периметр депо на 10 м, а склад метанола ГКП-2 – на 200 м, что призвано минимизировать вероятность встречи огня с высокогорючими материалами при нештатной ситуации.

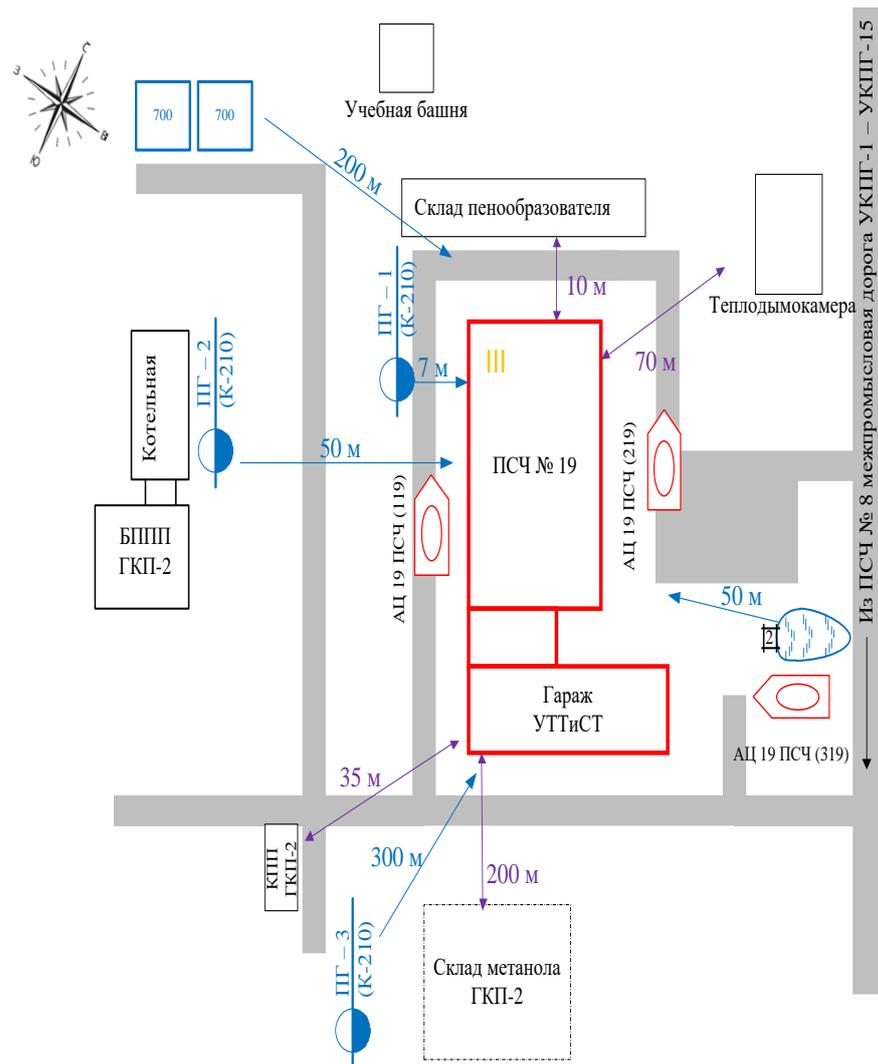


Рисунок 1 – План-схема расположения объекта на местности

Поддержка ресурсного потенциала ПСЧ № 19 обеспечивается применением современных систем хранения жидкостей, газов и твердых реагентов, необходимых для оперативного реагирования на различные виды возгораний.

Пенообразователь хранится в герметичных емкостях, имеющих специальные системы отвода паров и температурные датчики, сигнализирующие о возможном повышении температуры. Склад метанола ГКП-2 оборудован дополнительными барьерами для предотвращения

вытекания жидкости, а также усиленными перекрытиями, гарантирующими сохранность емкостей при воздействии умеренных механических нагрузок.

Формирование оптимальных планировочных решений существенно облегчается при наличии разветвленной сети пожарных гидрантов (ПГ-1, ПГ-2, ПГ-3), расположенных на дистанциях 7-50 м от ключевых точек депо.

Первичный расчет размещения гидрантов предполагает, что при возгорании внутри здания депо, а также в зоне хранения пенообразователя, существует возможность быстрого подключения к водистоичнику для локализации очага.

Аналитический подход к подбору оборудования и его размещению предусматривает не только ближние гидранты, но и страхующие, находящиеся на удалении до 200-300 м, поскольку нередки ситуации, когда движение техники затрудняется преградами или уже имеющаяся магистральная линия оказывается перегруженной.

Преимущества возведения учебной башни на удалении 200 м от основных зданий состоят в том, что персоналу ПСЧ № 19 предоставляется безопасная зона для отработки навыков подъема, ориентирования на высоте и тушения условных очагов возгораний, расположенных на различных уровнях.

Теплодымокамера, построенная в непосредственной близости (70 м) от депо, делает возможным имитацию практического взаимодействия с дымовым заполнением помещений, поскольку чрезвычайно затруднительно организовать реалистичные учения без создания задымленной среды. Подобный тренировочный комплекс считается эффективным дополнением к учебной башне, поскольку развивает не только тактические навыки, но и способность контролировать психологическое состояние пожарных в неблагоприятной обстановке.

Гараж УПТнСТ, размещенный в 35 м от ПСЧ № 19, проектировался с учетом наличия достаточно широких выездных ворот, чтобы пожарные машины могли покидать территорию депо без дополнительных маневров. Во избежание заторов при массовом выезде техники в условиях острой

необходимости выезд располагается на таком расстоянии, которое обеспечивает возможность разворота автопарка в нужном направлении.

Планировочные решения предусматривают не только продольное, но и боковое расположение транспортных средств, что упрощает логистику при проведении учений и при обслуживании автотехники.

Проектная документация, лежащая в основе обоснования расположения и конфигурации ПСЧ № 19, ориентирована на строгие строительные нормы, предусматривающие необходимую противопожарную ширину проездов, наличие зон для технического обслуживания, а также четко регламентированную высоту зданий с учетом градостроительных ограничений.

В качестве вспомогательного инструмента принятия проектных решений применяются вычислительные программы, позволяющие моделировать распространение огня, термические нагрузки на строительные конструкции и возможные пути эвакуации. Данные модели учитывают физико-химические характеристики горючих материалов, скорость ветра, влажность и температуру окружающей среды.

Оптимизация ресурсного обеспечения становится достижимой при непрерывном мониторинге текущих потребностей объекта. Пожарные резервуары, расположенные вблизи депо, обычно включают подземные и наземные системы, которые регулярно проверяются на предмет потерь воды и засоров трубопроводов.

Наличие котельной на расстоянии 50 м предоставляет возможность поддерживать тепло в зимний период и гарантирует минимизацию времени на прогрев техники, однако требует тщательных мер безопасности для исключения вероятности попадания продуктов сгорания топлива в служебные помещения.

В таблице 2 представлена система ресурсного обеспечения ПСЧ № 19 отражает основные характеристики инфраструктуры, задействованной в оперативной деятельности.

Таблица 2 – Система ресурсного обеспечения ПСЧ № 19

Наименование ресурса	Объем или количество	Место хранения или размещения	Особые требования
Пенообразователь	1 т	Склад (10 м)	Контроль температуры
Метанол	5 м <sup>3</sup>	ГКП-2 (200 м)	Герметичность и вентиляция
Подземные пожарные резервуары	2 шт	Вблизи ПСЧ (до 50 м)	Регулярная проверка уровня воды
Гараж УПТнСТ	4 единицы техники	35 м от депо	Широкие выездные ворота
Учебная башня	–	200 м от депо	Имитация высотных работ
Теплодымокамера	–	70 м от депо	Создание задымления

Анализ данных таблицы 2 позволяет установить, что ресурсы для обеспечения пожарной безопасности и учебно-тренировочные объекты расположены таким образом, чтобы максимизировать эффективность и сократить время подготовки к оперативным действиям в случае возгорания. Наличие различных складских помещений и специальных зон (учебная башня, теплодымокамера) отражает многофункциональный характер ПСЧ № 19, которая не ограничивается только хранением техники, но и занимается подготовкой специалистов, проверкой взаимодействия подразделений и анализом возможных рисков на соседних объектах.

Одним из важных факторов остается организация дорожной сети, по которой перемещается техника во время учений или реальных выездов. Инженерные службы анализируют состояние покрытий, уклон дорог и радиусы поворотов, чтобы пожарные автомобили, особенно с крупногабаритными цистернами, могли беспрепятственно добираться до мест возгорания. Наличие нескольких маршрутов выезда из депо дает возможность выбирать оптимальный путь в зависимости от дорожной обстановки, направления ветра или загруженности основной магистрали [4].

Еще одним существенным аспектом проектирования планировочных решений становится обеспечение персонала зонами для отдыха, хранения индивидуальных средств защиты и проведения оперативных совещаний. Доступность таких зон существенно влияет на морально-психологическое состояние пожарных, особенно в периоды повышенной готовности или при масштабных спасательных работах. Архитектурные особенности помещений, где размещаются личные защитные средства и средства связи, предполагают высокую степень огнестойкости стен и перекрытий, а также наличие систем кондиционирования и фильтрации воздуха [17].

Анализ взаимной компоновки всех упомянутых элементов свидетельствует о том, что грамотная планировочная концепция призвана обеспечить не только безопасность, но и функциональное удобство при ежедневной эксплуатации. Множество зон внутри ПСЧ № 19 имеют различное назначение (принятие дежурной смены, обслуживание автопарка, хранение боевых расчетов, хранение пенного оборудования), и все эти процессы должны протекать параллельно без взаимных помех, сохраняя высокую скорость реагирования. Важную роль в этом играет и обеспечение обзорности территории, которая достигается подбором высоты зданий и размещением осветительных приборов, что особенно актуально в ночное время или при неблагоприятных погодных условиях.

### **1.3 Техническое оснащение, эксплуатационные требования и территориальное взаимодействие**

Аналитическое исследование технического оснащения ПСЧ № 19, функционирующего на базе передовых методов организации пожарной безопасности, предполагает учет специфики расположения объекта в окружении промышленных и складских помещений. Оборудование, предназначенное для тушения пожаров, должно соответствовать классам огнестойкости ближайших сооружений, которые включают склад метанола,

БПП ГКП-2 и котельную. Применение универсальных средств тушения, в том числе средств на основе пенообразователя, достигает максимальной эффективности при строгом соблюдении технологических норм, а также при наличии корректного запаса реагентов, позволяющих локализовать огонь еще на ранних стадиях.

Технические средства, обеспечивающие бесперебойную работу пожарных подразделений, включают насосные установки, систему подачи воды с различным давлением и удаленные устройства дистанционного управления для разведки обстановки при сложных условиях видимости. Комплексная оснащенность ПСЧ № 19 подразумевает наличие специализированных костюмов для работы в зонах повышенной температуры, газоанализаторов, позволяющих обнаруживать токсичные продукты горения, и мобильных систем подачи пенообразователя.

Современные АЦ (Автоцистерны) различной емкости, находящиеся на вооружении части, обеспечивают подачу значительных объемов воды и пены, что позволяет самостоятельно ликвидировать возгорания малой и средней интенсивности. Подобная тактика особенно актуальна в зоне складирования легковоспламеняющихся жидкостей [2].

Расчетная часть, нацеленная на определение необходимого количества огнетушащих веществ, опирается на нормативно-правовую базу и учитывает физико-химические характеристики потенциальных очагов возгорания. Применение интеллектуального оборудования, в дальнейшем планируемого к внедрению, предусматривает гибкую адаптацию параметров тушения к изменяющимся условиям, поскольку современные датчики способны мониторить температуру, уровень концентрации газов и динамику распространения пламени. Взаимодействие таких систем с базовой инфраструктурой ПСЧ № 19 требует заблаговременного создания устойчивых каналов связи и централизованного диспетчерского пункта, куда поступает вся информация.

Укрепление материально-технической базы депо нельзя рассматривать в отрыве от вопросов регулярной регламентации обслуживания оборудования. Согласно установленным нормам, вся спецтехника, находящаяся в гараже УПТнСТ, проходит периодический техосмотр, включающий проверку целостности рукавных линий, работоспособности насосов, а также герметичности емкостей для пенообразователя. Критически важные элементы систем пожаротушения подвергаются дополнительному контролю при температурных перепадах, характерных для данного региона. Подготовка к работе в зимний период обычно включает промывку трубопроводов, замену рабочих жидкостей и оценку состояния нагревательных элементов, предотвращающих обмерзание клапанов.

В таблице 3 представлены характеристики ключевых технических средств ПСЧ № 19 иллюстрирует эксплуатационные возможности имеющегося оборудования, что впоследствии служит инструментом планирования новых инвестиций и модернизации.

Таблица 3 – Характеристики ключевых технических средств ПСЧ № 19

Наименование средства	Количество	Основные функции	Параметры производительности
АЦ 19 ПСЧ (119)	2	Подача воды, пенообразователя	Емкость 5 м <sup>3</sup> , давление 1,0 МПа
АЦ 19 ПСЧ (319)	1	Резервная подача воды и пены	Емкость 3 м <sup>3</sup> , давление 0,9 МПа
Насосные станции	2	Обеспечение высокого давления	1,2 МПа, расход до 40 л/с
Роботизированные модули	–	Автономное тушение в опасных условиях	Планируется к внедрению
Газоанализаторы	4	Контроль содержания токсичных веществ	Диапазон измерений: CO, NO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S
Тепловизоры	2	Обнаружение скрытых очагов горения	Диапазон температур – 20...+500 °С

Инженерное оснащение ПСЧ № 19 выступает ключевым фактором, определяющим уровень готовности к ликвидации возгораний разного масштаба. Взаимосвязь между техническими средствами и пространственной конфигурацией объекта проявляется, например, в том, насколько быстро специалисты могут доставить нужное оборудование к очагу возгорания, а также есть ли достаточно места для безопасного разворачивания насосных станций или прокладки рукавных линий. Территориальное взаимодействие депо с близлежащими промышленными сооружениями дополняется формированием общей системы безопасности, в которой котельная и БПП ГКП-2 становятся объектами повышенного внимания из-за их потенциальной опасности.

Значительное влияние на эксплуатационные требования к объекту оказывает сезонный фактор, поскольку в зимний период возникает необходимость более тщательной подготовки техники и персонала к низким температурам и обледенению. Промерзание грунта и выпадение значительного количества осадков могут вызвать сложности при подъезде к складу пенообразователя или метанола, а также при использовании гидрантных систем на улице.

Переход на специально подготовленные смеси охлаждающих жидкостей в насосах, защита рукавов от образования льда и организация противогололедных мероприятий во дворе депо – лишь часть мер, направленных на поддержание функциональной готовности ПСЧ № 19.

Кооперация между пожарной частью и другими объектами, в частности учебной башней и теплодымокамерой, обусловлена необходимостью постоянной тренировки личного состава в условиях, имитирующих реальную обстановку. Тепловые воздействия и дым, создаваемые в теплодымокамере, позволяют пожарным улучшать координацию внутри звеньев, проверять работу средств связи и отрабатывать приемы поиска пострадавших в задымленных помещениях. Совмещение теоретических занятий, проводимых в учебной башне, и практических тренировок в тепловых условиях

способствует формированию навыков мгновенного распознавания наиболее критичных сценариев.

Технологическое развитие ПСЧ № 19 предполагает внедрение автоматизированных систем управления сигнализацией и оповещением, которые реагируют не только на повышение температуры, но и на динамику изменений газовой среды. Своевременное получение данных о зарождении возгорания, в том числе в отдаленных участках склада или в гараже УПТнСТ, создает предпосылки для оперативного реагирования еще до того, как пламя примет большие масштабы. Переход к интеллектуальным системам, синтезирующим информацию с разных датчиков, можно рассматривать в качестве логического шага по повышению эффективности всего комплекса пожарной безопасности.

Интеграция с муниципальными и региональными системами мониторинга дополнительно расширяет возможности ПСЧ № 19, поскольку позволяет экстренно запрашивать подкрепление из соседних частей или согласовывать маршруты проезда в условиях закрытия дорог. Уменьшение вероятности возникновения «бутылочных горлышек» на подъездных путях остается приоритетной задачей для органов местного самоуправления, которые работают в тесном контакте с руководством пожарных частей, предоставляя данные о плановых работах или временных ограничениях движения.

Факторы, связанные с промышленной средой вокруг ПСЧ № 19, оказывают прямое влияние на эксплуатационные требования к оборудованию. Наличие складов метанола и пенообразователя отражает высокую степень пожароопасности, которая требует частых проверок систем вентиляции и герметизации, а также повышенной надежности электросетей.

Механизмы подачи пены с различной кратностью должны оперативно переключаться в зависимости от характера возгорания, будь то воспламенение углеводородных жидкостей или горение твердого материала. Современные технологии позволяют контролировать расход пенообразователя в режиме

реального времени, что дает возможность экономить реагенты и одновременно сохранять высокую эффективность тушения.

Длительный опыт эксплуатации подобных объектов показывает, что планово-предупредительные ремонты в сочетании с регулярными учениями способны существенно снизить риски отказов оборудования и повышают уверенность личного состава в надежности техники. Многоступенчатый алгоритм запуска интеллектуальных систем тушения, основанных на распознавании тепловых аномалий, формирует надежный барьер на пути распространения огня. Для поддержания такой системы в рабочем состоянии необходимо предоставлять специалистам непрерывный доступ к статистике сработок датчиков, результатам анализа газовой среды, а также к перечню выполненных регламентных работ [22].

Комплексный подход к эксплуатации пожарного депо, размещенного в промышленной зоне, подкрепляется нормативными актами, регламентирующими деятельность пожарных подразделений, санитарными требованиями и стандартами техносферной безопасности.

Формирование единой базы данных о техническом состоянии депо, уровне подготовки личного состава и состоянии прилегающих объектов позволяет структурировать информацию и при необходимости быстро принимать взвешенные решения. Подобная работа ведется в нескольких направлениях: совершенствование материально-технической части, оптимизация планировочных решений и внедрение передовых методов мониторинга пожарной обстановки на всем участке промышленной зоны.

#### Выводы по разделу 1

Характеристика объекта защиты позволила детально раскрыть инфраструктурные, организационные и технологические особенности функционирования пожарно-спасательной части, что обусловило необходимость комплексного анализа пространственного размещения ключевых узлов и ресурсного потенциала.

Проведенный анализ архитектурно-планировочных решений продемонстрировал, что грамотная организация внутренней и внешней инфраструктуры существенно повышает эффективность оперативного реагирования при возникновении пожаров различной сложности. Исследование распределения материальных ресурсов, технических средств и логистических маршрутов показало, что своевременное обновление материально-технической базы и регулярная оценка удаленности опасных зон позволяют поддерживать высокий уровень готовности объекта к чрезвычайным ситуациям.

Особое внимание было уделено вопросам хранения легковоспламеняющихся веществ и обеспечению пожарных резервуаров, что обеспечивает необходимый запас реагентов для реализации тактических мероприятий в условиях быстрого развития очага. Анализ современных требований к техническому оснащению и эксплуатации объектов промышленной инфраструктуры подтвердил значимость интеграции инженерных решений с организационными мерами, направленными на предотвращение возникновения аварийных ситуаций.

В ходе исследования было установлено, что системный подход к обеспечению безопасности требует координации между всеми структурными элементами пожарного депо, в том числе с учетом сезонных и технологических факторов, влияющих на состояние оборудования и персонала. Выявленные закономерности указывают на необходимость дальнейшей оптимизации пространственной структуры и ресурсного обеспечения, что создает предпосылки для внедрения интеллектуальных систем повышения безопасности.

## 2 Интеллектуальное оборудование для пожаротушения

### 2.1 Теоретико-практические принципы вычисления расхода воды и пенообразователя для начальной стадии тушения

Методические подходы к расчету объема воды, требуемой для ликвидации пожара на объекте уровня ПСЧ № 19, предполагают применение формул, позволяющих учесть характер горючей нагрузки, интенсивность огневого воздействия и особенности планировки прилегающей территории.

Систематический анализ параметров, связанных с химическими, физическими и конструктивными свойствами зданий, определяет алгоритм расчета расхода воды и пенообразователя, который позволит своевременно и эффективно подавить огонь на начальной стадии возгорания. Практические рекомендации основываются на усредненных показателях расхода веществ, приведенных в нормативных документах, а также на специфике расположения склада метанола и склада пенообразователя, находящихся на различных расстояниях от ПСЧ № 19.

Формулы, позволяющие производить вычисления объемов огнетушащих средств, ориентируются на несколько ключевых параметров, к которым относятся интенсивность горения, площадь и высота возможного очага, скорость распространения пламени, а также теплотворная способность материалов, подверженных возгоранию.

Одним из базовых уравнений при расчете суммарного водоподачи для начальной стадии тушения считается (1):

$$Q_{\text{вода}} = k \cdot F \cdot \delta, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{вода}}$  - требуемый расход воды, л/мин;

$k$  - коэффициент, зависящий от категории пожарной опасности и вида горючего материала;

$F$  - площадь поверхности горения, м<sup>2</sup>;

$\delta$  - норматив интенсивности подачи воды, л/(мин·м<sup>2</sup>) [24].

Значение  $k$  зависит от того, рассматривается ли горение легковоспламеняющихся жидкостей, твердых органических материалов или комбинированных веществ, а также от соответствующего класса пожара (А, В, С и т. д.). На территории исследуемого депо преобладают объекты категорий В и С, включая склад легковоспламеняющейся жидкости (метанол) и различные зоны хранения горючих материалов.

При горении метанола расчетная интенсивность подачи может достигать 0.10 ... 0.15 л/(мин·м<sup>2</sup>), что обуславливает значение  $\delta$  в рамках 0.15 ... 0.25 л/(мин·м<sup>2</sup>) для более вязких горючих жидкостей. Коэффициент  $k$  в случае пожара, обусловленного воспламенением жидкостей класса В, нередко принимается равным 1.2-1.3, учитывая возможность стремительного распространения огня при нарушении герметичности емкостей. Предположим, что площадь потенциального разлива метанола равна 20 м<sup>2</sup>. Замещая указанные значения в формулу (1), можно получить приблизительные цифры для суммарного расхода воды, необходимого для формирования водяного экрана и охлаждения близлежащих конструкций:

$$Q_{\text{вода}} = 1.3 \cdot 20 \cdot 0.20 = 5.2 \text{ л / мин.}$$

Подобная величина может показаться невысокой, однако следует учитывать, что она относится к начальному этапу тушения при своевременном обнаружении возгорания и при условии небольшого объема вытекшей жидкости. Значительное увеличение площади или интенсивности горения приводит к радикальному росту потребности в воде, и в таких случаях общий расход может достигать нескольких сотен литров в минуту.

Уточнение значения расхода осуществляется с помощью поправочных коэффициентов, которые отражают высоту факела горения, температуру

окружающей среды и возможность интенсивного теплового излучения. Показатели температурного фона влияют на эффективность охлаждения конструкций и оборудования, что приводит к появлению дополнительного множителя  $C_T$ , учитывающего перепады температур в широком диапазоне.

Расширенный вариант формулы (1) может быть записан так (2):

$$Q_{\text{вода\_расш}} = Q_{\text{вода}} \cdot C_T \cdot C_h, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{вода\_расш}}$  - уточненный расход воды, л/мин;

$C_T$  - поправка на температурный диапазон, равная 1.1-1.2 при отрицательных температурах окружающего воздуха (с учетом снижения эффективности тушения), либо 0.9-1.0 при благоприятных условиях;

$C_h$  - коэффициент, зависящий от высоты пламени, в пределах 1.0...1.3 при изменении высоты факела от 2-3 м до 5-7 м и более [11].

Если температура наружного воздуха опускается до  $-15^\circ\text{C}$ , принимается  $C_T = 1.2$ , а при высоте факела 5 м может быть выбрано  $C_h = 1.3$ . Тогда уточненный расход с разливом метанола:

$$Q_{\text{вода\_расш}} = 5.2 \cdot 1.2 \cdot 1.3 = 8.112 \text{ л / мин.}$$

Практическое использование полученных значений показывает, что локализация пламени потребует не только подачи воды, но и ее распыления через специальные насадки для качественного охлаждения горящих поверхностей и предотвращения вторичного воспламенения. Наряду с этим, формируются требования к давлению в магистрали, что определяет выбор насосного оборудования ПСЧ № 19. В случае применения разветвленной рукавной линии падение давления может составлять 0.2...0.4 МПа, подбираются насосы, способные работать на уровнях 1.0-1.2 МПа при расходе до 25...40 л/с.

Наряду с водой, существенную роль играет пенообразователь, обеспечивающий изоляцию горючей жидкости от притока кислорода. При тушении спиртов (метанол) или углеводородов (бензины, дизельные топлива) может применяться средне- или высокократная пена. Объем расхода определяется не только площадью разлива, но и кратностью пены, желаемым слоем покрытия, а также режимами подачи.

Для расчета количества пенообразователя часто используют уравнение (3):

$$G_{\text{пенообр}} = \frac{F_{\text{гор}}}{K_{\text{пены}}} \cdot \alpha \cdot \tau, \quad (3)$$

где  $G_{\text{пенообр}}$  - масса пенообразователя, кг;

$F_{\text{гор}}$  - площадь поверхности горения ( $\text{м}^2$ ), аналогичная той, что применяется в расчетах расхода воды;

$K_{\text{пены}}$  - кратность пены (безразмерная величина), определяющая, во сколько раз увеличивается объем раствора при образовании пены;

$\alpha$  удельный расход пенообразователя,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ , выбранный на основании экспериментальных данных по тушению конкретных жидкостей;

$\tau$  - расчетное время воздействия пены (мин), необходимое для образования надежного покрытия [20].

Значение кратности может колебаться в широких пределах: 10...200 для средне- и высокократных составов, а фактическая эффективность определяется химическим составом пенообразователя.

Допустим, что площадь зоны горения метанола равна  $15 \text{ м}^2$ , а планируется подача пены средней кратности  $K_{\text{пены}} = 40$ . Эксперименты показывают, что при тушении подобных спиртовых веществ удельный расход может составлять  $0.18 \dots 0.22 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ . Пусть  $\alpha = 0.20 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ , а время воздействия будет 10 мин, что должно обеспечить формирование достаточного изолирующего слоя.

Замещая данные значения в формулу (2.3), можно определить массу пенообразователя:

$$G_{\text{пенообр}} = \frac{15}{40} \cdot 0.20 \cdot 10 = 0.75 \text{ кг.}$$

Малые величины в подобных расчетах отражают факт, что для образования плотной пенной массы необходимо существенно меньшее количество концентрата по сравнению с водой, однако следует иметь в виду наличие дополнительного расхода воды для создания необходимой структуры пены.

В реальных условиях при значительном разливе, перерастающем в крупный пожар, расход будет возрастать кратно. Применяемые нормативы обычно закладывают запас 20-30 % от расчетного значения, учитывая возможность утечки пены из зоны горения, а также расширение площади разлива [29]. Точное определение параметров тушения требует учета реальной доступности пенообразователя и воды. На территории ПСЧ № 19, согласно данным, имеется склад пенообразователя массой 1 т, что создает достаточные резервы для одновременного тушения нескольких очагов либо для продолжительного воздействия на один крупный пожар.

Доступная емкость подземных резервуаров, расположенных в пределах 50 м от депо, обеспечивает запас воды порядка нескольких десятков м<sup>3</sup>. Однако значительная часть расчетов должна включать временные задержки, связанные с подключением насосов, прокладкой рукавных линий и возможным отбором воды из муниципальной сети при крупных пожарах.

Полезно отразить в табличной форме основные характеристики расхода воды и пенообразователя для различных типов возгораний в пределах исследуемого объекта. В таблице 4 представлены показатели расхода воды и пенообразователя для начального этапа тушения.

Анализ данных таблицы 4 предоставляет обобщенную картину, позволяющую оперативно оценивать затраты огнетушащих средств при различных сценариях. Системный учет особых свойств метанола,

характеризующегося легким переходом в пар, поддерживается введением в расчет дополнительных поправочных коэффициентов, отражающих скорость испарения, нижний и верхний предел взрываемости.

Таблица 4 – Показатели расхода воды и пенообразователя для начального этапа тушения

Характер горения	Площадь очага, м <sup>2</sup>	Интенсивность воды, л/(мин·м <sup>2</sup> )	Кратность пены (условная)	Расчетное количество пенообразователя, кг	Примечания
Жидкости класса В (метанол)	15...25	0.15...0.25	30...50	0.5...1.0	Высокая летучесть, риск взрыва паров
Твердые материалы (класс А)	20...50	0.10...0.15	5...10	0.2...0.8	Возможна высокая температура тления
Комбинированные горения	30...60	0.20...0.30	10...20	0.8...1.5	Смешанная природа горючих веществ

Кроме того, существуют ситуации, когда совместное применение воды и пенообразователя неэффективно без параллельного использования углекислотных или порошковых средств, если возникает опасность электрического тока высокого напряжения, что может наблюдаться в зоне котельной или при повреждении силовых кабелей.

Уточненные формулы учитывают совокупность влияний, благодаря чему можно говорить о необходимости регулярного пересмотра расчетных параметров с поправкой на сезонность, состояние оборудования и активные меры профилактики. Главенствующая роль в анализе принадлежит своевременному реагированию: чем быстрее мобилизуются силы ПСЧ № 19, тем меньше объемов огнетушащих средств понадобится для окончательной ликвидации возгорания. Практика показывает, что адекватный мониторинг очага с помощью современных тепловизоров и датчиков состава воздушной

среды дает возможность оперативно оценить площадь и интенсивность горения, что повышает точность расчетов и снижает вероятность принятия ошибочных решений при выборе концентрации и кратности пены.

Особые тонкости возникают в случае комбинированного пожара, когда одновременно происходят воспламенения твердых материалов и жидкости. Для подобных ситуаций введен дополнительный коэффициент  $m$ , учитывающий усредненную теплотворную способность горящих веществ, который может входить в формулу (3) с поправкой на толщину слоя пены.

Математические модели, применяемые в инженерных расчетах, способны учитывать геометрию объекта, наличие перегородок и вентиляционных отверстий, которые меняют скорость распространения огня и паров. Такие модели часто используют методы гидрогазодинамического моделирования (CFD) для оценки объемного распределения температуры и продуктов сгорания [8].

Непрерывная корректировка расчетов (при увеличении площади очага или при непредвиденных изменениях внешних условий) выходит на первый план, когда пожарным расчетам приходится действовать в условиях быстрого развития событий. Переход огня со склада метанола на прилегающую территорию может произойти в считанные минуты при наличии сквозного ветра, что требует заблаговременно размещенных рукавных линий и пенных генераторов по периметру опасной зоны. Чтобы предотвратить подобные сценарии, ПСЧ № 19 формирует график плановых учений, в ходе которых отрабатываются порядок разворачивания пенных атак, взаимодействие с соседними объектами (БПП ГКП-2) и котельной, а также взаимодействие со специалистами, отвечающими за герметичность емкостей с метанолом.

Результирующие данные, получаемые на основе формул (1) - (3), позволяют устанавливать базовые критерии готовности к тушению и проводить периодические инвентаризации наличия огнетушащих средств. При выявлении несоответствия фактических объемов воды в резервуарах или пенообразователя на складе необходимо своевременно восполнять запасы с

учетом расчетных норм. Регулярная проверка оборудования (включая насосы, рукава, пенные стволы) и отслеживание давления в магистралях на разных стадиях подведения средств обеспечивает устойчивый результат и снижает вероятность непредвиденных отказов.

## **2.2 Расчетный анализ потребности в силах и средствах для тушения комплексных возгораний**

Точное планирование необходимых сил и средств при возникновении различных видов пожаров на территории ПСЧ № 19 обусловлено не только расчетами объемов воды и пенообразователя, но и анализом численного состава боевых расчетов, а также параметров техники, готовой к немедленному выезду.

Численность личного состава, уровень оснащённости специализированными автомобилями, насосными установками и средствами разведки очага напрямую определяют общую эффективность ликвидации возгорания на начальных и развивающихся стадиях. Потребность в задействовании дополнительных ресурсов, включая привлечение соседних пожарных частей или мобильных лабораторий, устанавливается на основании нормативно-правовых документов и результатов предварительных расчетов огнеопасных сценариев.

В рамках инженерно-технического подхода к оценке потребности в силах и средствах целесообразно применять уравнения, отражающие взаимосвязь между характером горения, объемом огнетушащих веществ и временем, необходимым для локализации пламени [10].

Если известна площадь очага, а также скорость развития огня, допустимо использовать обобщенное уравнение (4), позволяющее определить количество необходимых боевых расчетов  $N$ :

$$N = \frac{Q_{\text{общц}}}{Q_{\text{единицы}}} \cdot \beta, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{общц}}$  - суммарный расход огнетушащих средств, л/мин, соответствующий определенному сценарию возгорания;

$Q_{\text{единицы}}$  - / расход, который способен обеспечить один боевой расчет, л мин;

$\beta$  - корректирующий коэффициент, учитывающий сложность очага, необходимость прокладки дополнительных магистралей и организацию резерва [21].

Значение  $\beta$  может составлять 1.1-1.3 в зависимости от количества задействованных стволов, погодных условий и вероятности возникновения повторных очагов.

Для уточнения параметра  $Q_{\text{общц}}$  следует суммировать потребность в воде и пенообразователе, переводя последний в эквивалент воды по тепловой и охлаждающей способности или оставляя отдельный расход для обеспечения пенных атак. Предположим, что в условиях горения смешанного характера (метанол с твердыми материалами) суммарный расчетный расход достиг 400 л/мин (вода и эквивалентные средства для пены).

Один боевой расчет ПСЧ № 19, состоящий из автоцистерны АЦ 19 ПСЧ (119) и личного состава в количестве 5 человек, способен обеспечить подачу 150 л/мин при условии развертывания 1-2 стволов. Если принять коэффициент  $\beta = 1.2$ , то подстановка значений в формулу (4) даст:

$$N = \frac{400}{150} \cdot 1.2 = 3.2$$

Округление результата показывает, что необходимо около 3-4 боевых расчетов. Полученный итог говорит о том, что при крупном возгорании сил одного подразделения может быть недостаточно, и потребуется задействовать либо резервную технику (АЦ 19 ПСЧ (319)), либо привлечь соседние части.

Подобный пример иллюстрирует, насколько важно учитывать фактические возможности депо: при наличии 2 автоцистерн совокупная подача воды может быть увеличена в 2 – 3 раза, если позволяет пропускная способность водоисточников и давление в магистралях.

Одной из ключевых характеристик, подлежащих расчету, становится временной интервал ликвидации пожара, поскольку даже значительные силы могут не справиться своевременно при отсутствии слаженной координации или при нехватке дополнительных стволов.

Для более точного определения требуемого количества людей и техники можно использовать уравнение времени тушения (5):

$$t_{\text{туш}} = \frac{V_{\text{гор}}}{Q_{\text{общ}}} \cdot \lambda, \quad (5)$$

где  $t_{\text{туш}}$  - предполагаемая длительность тушения, мин;

$V_{\text{гор}}$  - объем горячей субстанции или суммарная горючая нагрузка, приведенная к литрам, кг или м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{общ}}$  - общий расход воды или огнетушащих веществ, л/мин или кг/мин;

$\lambda$  - коэффициент, учитывающий несплошность подачи, переключение стволов и возможные сбои в оборудовании, выбираемый в интервале 1.1-1.5 [1].

При горении 1000 л метанола, учитывая возможные утечки из емкостей и распределение по полу, суммарная опасность может быть сопоставима с  $V_{\text{гор}} = 1000$  л. Если депо располагает общим расходом 400 л/мин, а  $\lambda = 1.2$ , подстановка значений позволяет оценить примерное время тушения:

$$t_{\text{туш}} = \frac{1000}{400} \cdot 1.2 = 3.0 \text{ мин.}$$

Полученное значение может считаться идеализированным, поскольку не учитывается фаза развертывания, доставка личного состава, включение насосов и другие организационные аспекты. На практике продолжительность

может вырасти в 2...3 раза, что подтверждает необходимость резерва техники и участия нескольких звеньев.

Расчет оптимального числа рукавных линий, прокладываемых от пожарных гидрантов (ПГ-1, ПГ-2, ПГ-3), определяется пропускной способностью каждого гидранта, которая может достигать 10-15 л/с при давлении 0.8-1.0 МПа, а также расстоянием от депо до очага.

Для снижения потерь давления в рукавах применяется формула (6):

$$\Delta p = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{L}{d} \cdot \left(\frac{Q}{\kappa}\right)^2, \quad (6)$$

где  $\Delta p$  - потери давления, МПа;

$\lambda_{\text{тр}}$  - коэффициент трения для воды в конкретном типе рукава;

$L$  - длина рукавной линии, м;

$d$  - внутренний диаметр рукава, м;

$Q$  - расход воды, л/с;  $\kappa$  коэффициент перевода единиц в систему СИ (учитывает соотношение между л/с и м<sup>3</sup>/с, а также особенности использования рукавов) [25].

Учитывая, что при доставке воды в количестве 10 л/с на расстояние 50 м через рукав диаметром 0.066 м (примерно 66 мм) при  $\lambda_{\text{тр}} = 0.02$ , можно оценить  $\Delta p$ . Пусть  $\kappa = 1000$  для перевода л/с в м<sup>3</sup>/с:

$$\Delta p = 0.02 \cdot \frac{50}{0.066} \cdot \left(\frac{10}{1000}\right)^2$$

В числителе:  $0.02 \cdot \frac{50}{0.066} = 15.15$ . В знаменателе:  $\left(\frac{10}{1000}\right)^2 = (0.01)^2 = 0.0001$ . Следовательно:

$$\Delta p = 15.15 \cdot 0.0001 = 0.001515 \text{ МПа.}$$

Подобное значение можно считать небольшим, однако при увеличении длины до 100 м и расхода до 15 л/с потери давления кратно возрастают.

Подбор оптимального числа рукавных линий и насосного оборудования, компенсирующего эти потери, обеспечивает достаточную скорость доставки воды к очагу и уменьшает риск снижения интенсивности тушения в решающий момент.

Одним из важных моментов организации сил и средств становится подготовка боевых расчетов, которые должны учитывать возможное перерастание локального возгорания в опасное для прилегающих объектов. ПСЧ № 19 располагает двумя основными автоцистернами (АЦ 19 ПСЧ (119) и АЦ 19 ПСЧ (319)) и может дополнительно вызывать подкрепление.

Тем не менее, расчеты показывают, что при разливе нескольких сотен литров метанола в гаражном помещении или около склада ГКП-2 температура внутри здания способна резко вырасти, а значительная часть воды будет испаряться без полноценного охлаждающего эффекта, что указывает на необходимость применения комбинированных методов тушения, включая одновременную подачу воды и пены, а иногда и использование порошковых средств для изоляции некоторых участков.

В таблице 5 представлен расчет количества расчетов и техники при различных сценариях:

Таблица 5 – Расчет количества расчетов и техники при различных сценариях

Сценарий	Площадь очага, м <sup>2</sup>	Суммарный расход, л/мин	Расчетная потребность, ед. техники	Число личного состава, чел.	Время тушения, мин
Небольшой разлив В-класса (до 20 м <sup>2</sup> )	15... 20	150... 200	1...2	5... 10	3... 5
Смешанное горение (30... 40 м <sup>2</sup> )	30... 40	250... 400	2...3	10... 15	5... 10
Крупный разлив метанола (более 50 м <sup>2</sup> )	50... 60	400...600	3... 4	15... 20	10... 15

Анализ таблицы 5 позволяет определить, что для сравнительно небольшого очага хватает 1 автоцистерны и 5-10 человек личного состава,

тогда как сценарии, связанные со смешанным горением или крупными разливами горючих жидкостей, существенно повышают потребность в ресурсах.

Организация тушения всегда связана с временными затратами на прибытие дополнительной техники, поэтому в регламентных документах ПСЧ № 19 заложены нормы, обязывающие содержать резервный экипаж в дежурном режиме.

Следует подчеркнуть, что расчеты по формуле (4) и (5) ориентированы в первую очередь на усредненные данные и не учитывают возможные технологические и архитектурные особенности. Если в зоне возгорания присутствуют механизмы, способные создавать турбулентные потоки воздуха (например, мощные вентиляторы, компрессоры или турбоагрегаты), то скорость распространения огня может увеличиваться, и потребуются корректировать  $\beta$  в сторону 1.3-1.4.

Неотъемлемой частью комплексного анализа выступает гидравлическая проверка системы водоснабжения, обеспечивающей депо водой в достаточном объеме и соответствующем давлении. При старении водопроводных сетей или при временных отключениях (профилактических ремонтах) может возникнуть ограничение в подаче, и тогда часть боевых расчетов должна ориентироваться на ближайшие открытые водоемы или мобильные резервуары.

Четкое понимание требуемых сил и средств особенно важно для принятия решений о модернизации ПСЧ № 19, так как внедрение дополнительных насосных станций, пенных генераторов или роботизированных установок способно снизить зависимость от внешних факторов. Адекватная оценка критической нагрузки на личный состав помогает распределять дежурства таким образом, чтобы в любое время суток депо имело достаточное число подготовленных специалистов, знающих специфику горения метанола и других опасных веществ, хранящихся на прилегающих складах.

### 2.3 Методы обоснованного определения параметров времени реагирования и локализации очага

Научная оценка продолжительности реагирования подразделений ПСЧ № 19 и времени, которое необходимо для локализации пламени, базируется на комплексе расчетов, включающих формулы оперативного прибытия, развертывания и непосредственно тушения. Параметр времени реагирования зачастую становится критической величиной при анализе потенциальных потерь, поскольку даже при наличии мощных насосов и достаточного запаса пенообразователя запоздавший выезд многократно увеличивает ущерб.

Системная методика определения временных затрат учитывает фактические геометрические расстояния, состояние дорожного полотна, скорость движения автоцистерн, особенности архитектуры здания и требуемое время на прокладку магистралей.

Одним из базовых инструментов в данной сфере считается формула (7) для оценки времени прибытия  $t_{\text{прио}}$  :

$$t_{\text{приб}} = \frac{L_{\text{двигкк}}}{v_{\text{ср}}} + t_{\text{подд}}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{приб}}$  - суммарное время, мин;

$L_{\text{двигкк}}$  - протяженность маршрута от ПСЧ № 19 до места возгорания, км;

$v_{\text{ср}}$  - средняя скорость выезда техники, км/мин;

$t_{\text{пожг}}$  - дополнительные затраты времени (мин) на запуск двигателя, открытие ворот, получение информации от диспетчерской службы и посадку личного состава [9].

Если склад метанола ГКП-2 расположен на расстоянии 0.2 км от здания депо, можно взять  $v_{\text{ср}} = 0.8$  км / мин, а  $t_{\text{подд}} = 1.5$  мин, тогда:

$$t_{\text{приб}} = \frac{0.2}{0.8} + 1.5 = 1.25 + 1.5 = 2.75 \text{ мин.}$$

Данное значение наглядно показывает, что при близком расположении склада время прибытия техники может составлять 2.5-3 мин, однако даже такой небольшой временной интервал оказывается критичным в случае быстрого распространения огня. Более удаленные объекты, находящиеся в 1...2 км, приводят к увеличению времени прибытия до 5...7 мин, а при неблагоприятной дорожной обстановке или погодных условиях цифра может вырасти до 10 мин.

Следующая составляющая – время развертывания  $t_{\text{разв}}$ , которое уходит на установку автоцистерн на гидранты, прокладку рукавных линий, включение насосного оборудования и подготовку стволов к подаче воды или пены.

Используются усредненные показатели, ориентированные на организационные стандарты пожарных подразделений, в соответствии с которыми развертывание 1 ствола занимает 0.5-1.0 мин, а подключение к гидранту – 1-2 мин. Формула (8) дает оценку:

$$t_{\text{разв}} = n_{\text{ств}} \cdot t_{\text{ств}} + k_{\text{гид}} \cdot t_{\text{гид}} + t_{\text{проч}}, \quad (8)$$

где  $n_{\text{ств}}$  - количество стволов,

$t_{\text{ств}}$  - время на развертывание каждого ствола, мин,

$k_{\text{гид}}$  - число гидрантов или источников подачи воды,

$t_{\text{гид}}$  - время подключения к одному гидранту, мин,

$t_{\text{проч}}$  время на прочие операции (приготовление пенообразователя, снятие заглушек, согласование радиосвязи) [27].

Если планируется развертывание 2 стволов ( $n_{\text{ств}} = 2$ ), а каждый требует 1 мин ( $t_{\text{ств}} = 1$ ), при наличии 1 гидранта ( $k_{\text{гид}} = 1$ ), который занимает 1.5 мин ( $t_{\text{гид}} = 1.5$ ), и учете 0.5 мин на прочие операции ( $t_{\text{проч}} = 0.5$ ), итог составит:

$$t_{\text{разв}} = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1.5 + 0.5 = 3.5 \text{ мин.}$$

Сложение  $t_{\text{приб}} + t_{\text{разс}}$  даст суммарное время начала подачи огнетушащих веществ на очаг, после чего вступают в силу уравнения, описывающие процесс тушения.

Таким образом, если время прибытия к складу ГКП-2 составляет 2.75 мин, а время разворачивания 3.5 мин, то к подаче воды бригада приступит примерно через 6.25 мин с момента получения сигнала о возгорании. Данный показатель становится базовым для оценки риска распространения огня на соседние зоны, особенно если имеется сильный ветер или большие массы горючих жидкостей.

Одним из направлений снижения времени реагирования выступает внедрение интеллектуальных систем раннего обнаружения и передачи сигнала о возгорании. Переход к автоматической фиксации температуры, содержания паров метанола и дыма, а также мгновенной передаче тревожного сообщения на пульт дежурного позволяет сократить задержку на информирование личного состава. Приборы, оснащенные автономными источниками питания, продолжают функционировать даже при отключении электроэнергии, что повышает надежность системы сигнализации.

В некоторых случаях уместно рассмотреть формулу прогнозирования вероятности локализации очага  $P_{\text{лок в } T}$  течение заданного времени (9):

$$P_{\text{лок}} = 1 - e^{-\alpha(T-t_0)}, \quad (9)$$

где  $T$  - совокупное время с момента возгорания до достижения решающей стадии тушения, мин;

$t_0$  - время, которое требуется огню, чтобы достичь критического развития (мин);

$\alpha$  – эмпирический параметр, отражающий эффективность тушения [5].

Параметр  $\alpha$  зависит от качества применяемых средств, количества задействованных стволов и профессионализма расчета. При больших

значениях  $\alpha = 0.2 \dots 0.3$  вероятность локализации растёт очень быстро, а при низких ( $\alpha = 0.05 \dots 0.1$ ) процесс может затягиваться.

Если взять  $t_0 = 5$  мин, исходя из времени, за которое метанол в открытой емкости переходит в критическую фазу горения, и значение  $\alpha = 0.1$ , при совокупном времени  $T = 10$  мин получается:

$$P_{\text{лок}} = 1 - e^{-0.1(10-5)} = 1 - e^{-0.1 \cdot 5} = 1 - e^{-0.5}$$
$$P_{\text{лок}} = 1 - 0.60653 = 0.39347(39.347\%).$$

Указанный результат указывает на то, что при достаточно скромных скоростях тушения и позднем прибытии шансы на локализацию до наступления критической стадии могут составлять менее 40 %.

Увеличение  $\alpha$  за счет более агрессивной тактики тушения, использования более мощных насосов и привлечения дополнительных стволов будет повышать  $P_{\text{лок}}$ . Подобная модель иллюстрирует важность ускоренного выезда и максимизации интенсивности подачи воды и пенообразователя, пока площадь возгорания не достигла предела, препятствующего эффективному вмешательству.

Рассмотрение методик определения времени реагирования и локализации очага окажется неполным без учета внутренней логистики пожарного депо.

Регламенты, предписывающие, за какой период личный состав должен прибыть в гараж, надеть СИЗ, запустить двигатель и покинуть депо, напрямую влияют на  $t_{\text{подг}}$ . Сокращение этого параметра даже на 1 мин дает существенный прирост вероятности успешной борьбы с огнем на ранней стадии.

В таблице 6 приведены сводные параметры времени реагирования и шансы локализации в зависимости от расстояния и характера горения. Полученные результаты, представленные в таблице 6, позволяют заметить, что минимизация суммарного времени  $t_{\text{приб}} + t_{\text{разв}}$  и повышение  $\alpha$  через

более активную тактику тушения оказывают значительное влияние на итоги борьбы с огнем.

Таблица 6 – Сводные параметры времени реагирования и шансы локализации

Объект	Расстояние, км	$t_{под}$ , г, мин	$v_{ср}$ , км/мин	$t_{приб}$ , мин	$t_{разв}$ , мин	Сценарий горения	Примерное $t_0$ , мин	Вероятность локализации, % (при $\alpha=0.1$ , $T=t_{приб}+t_{разв}$ )
Склад ГКП-2 (метанол)	0.2	1.5	0.8	2.75	3.5	Спиртовая жидкость	5	40...45
Котельная	0.05	1.0	0.5	1.1	2.0	Загорелась обшивка	6	60...65
Учебная башня	0.2	1.0	1.0	1.2	2.5	Моделируемое	4	50...55

Внедрение интеллектуального оборудования, включая системы автоматического запуска насосов, роботизированные модули, активирующиеся при повышении температуры, и беспилотные дроны для разведки, может сократить время развертывания и повысить интенсивность подачи огнетушащего состава. Подобные шаги требуют инвестиций и обучения персонала, однако перспективы значительного роста уровня безопасности оправдывают соответствующие затраты.

Интеграция методов расчета времени реагирования с анализом параметров тушения (расход воды, пенообразователя, число стволов) формирует единую платформу, на которой базируются управленческие решения о дальнейшей модернизации ПСЧ № 19.

Современные подходы в области техносферной и пожарной безопасности ориентируются на комплексное взаимодействие между инженерно-техническими решениями, человеческим фактором и цифровыми технологиями, позволяющими обрабатывать массивы данных о метеорологических условиях, состоянии транспортных путей, составе воздушной среды и прочих переменных. ПСЧ № 19, размещенное в окружении

промышленных и складских объектов, находится в зоне повышенной пожарной опасности, что делает актуальными углубленные расчеты и тщательные планировочные мероприятия, направленные на снижение общего времени реагирования.

Скоординированная работа диспетчерской службы, боевых расчетов, МЧС или промышленную пожарную охрану) способна повысить шансы на оперативную локализацию пламени, даже если горючая жидкость или материалы с высокой теплотворной способностью уже вовлечены в процесс горения.

Применение формул и расчетов, рассматриваемых в данном разделе, помогает выработать меры по совершенствованию обучения персонала, автоматизации процедур запуска и контроля систем тушения, а также организовать бесперебойную связь с другими службами. Подобный уровень детализации позволяет уточнить, на каких направлениях рационально задействовать передовые роботизированные средства, какие маршруты следования к объектам подлежат улучшению и каким способом можно сократить время на предварительное развертывание.

#### Выводы по разделу 2

Проведенное исследование интеллектуального оборудования для пожаротушения продемонстрировало эффективность интеграции автоматизированных систем обнаружения и ликвидации возгораний в инфраструктуру современного пожарного депо.

Математические расчеты и алгоритмические подходы к определению расхода огнетушащих средств, а также количественный анализ потребности в силах и средствах показали, что применение интеллектуальных решений позволяет значительно повысить точность оценки текущей оперативной обстановки. Практика моделирования временных параметров реагирования выявила ключевые факторы, влияющие на минимизацию потерь времени и максимизацию вероятности успешной локализации очага. Особое значение придается реализации комплекса технических мероприятий, направленных на

автоматизацию передачи информации, своевременное оповещение персонала и адаптацию тактики тушения к изменяющимся условиям.

Применение методов вычислительной гидрогазодинамики (CFD) для анализа сценариев распространения пожара открыло дополнительные возможности по совершенствованию процесса принятия решений на основе данных о поведении продуктов горения.

Обобщение полученных результатов подтверждает, что систематизация методик и расчетных моделей обеспечивает высокую степень предсказуемости эффективности работы интеллектуальных систем. Внедрение автономных и дистанционно управляемых модулей становится важнейшим элементом повышения безопасности и технологической устойчивости объектов с повышенной пожарной нагрузкой.

### **3 Положительные и отрицательные моменты в использовании интеллектуального оборудования для пожаротушения**

#### **3.1 Основы организации интеллектуальной инфраструктуры защиты**

Разработка интеллектуальной инфраструктуры пожарной безопасности предполагает структуризацию установок в функционально автономные подсистемы, что обеспечивает гибкость конфигурации, возможность оперативного увеличения зоны контроля и сохранение стабильности при выходе из строя отдельных элементов.

Анализ архитектуры подобных систем, ориентированных на круглосуточное наблюдение за защищаемой территорией с мгновенной передачей сигнала о возгорании, показывает, что главенствующую роль играет организация двухпроводных линий связи, объединяющих многочисленные адресные извещатели, блоки анализа данных, а также управляющие модули.

Комплексный подход к созданию аналогичной инфраструктуры на исследуемом объекте основывается на принципах многоуровневой диагностики неисправностей, при которой локальные сбои в одном участке шлейфа не вызывают прекращения работы всех остальных зон, что достигается за счет топологии «Кольцо» и высокой устойчивости к внешним помехам. Реализация данного подхода немыслима без тщательного выбора аппаратных средств, способных непрерывно опрашивать все адресные устройства, распознавать сигналы о превышении норм по температуре и дымовым концентрациям, а также формировать команды для управления инженерным оборудованием здания [17].

Инженерная база, используемая в рассматриваемой установке, включает в себя пульт контроля и управления С2000М, контроллер С2000-КДЛ, сигнально-пусковой блок С2000-СП1 исп.01, релейные модули, блоки

бесперебойного питания и набор адресных датчиков, ориентированных на обнаружение тепловых и дымовых отклонений. Параллельное функционирование этих устройств обуславливает необходимость определенного алгоритма взаимодействия по интерфейсу RS-485, где пульт С2000М выполняет функции центрального узла, консолидируя информацию и передавая управляющие сигналы по заданным зонам [6].

Структурная схема КДЛ представлена на рисунке 2.

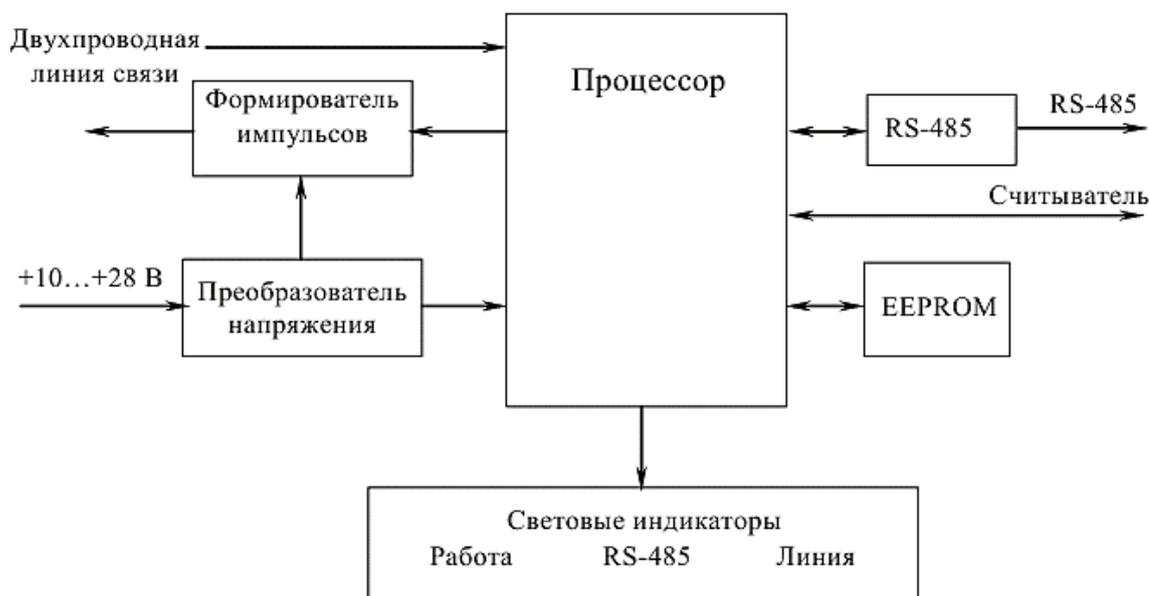


Рисунок 2 – Структурная схема КДЛ

Модуль двухпроводной линии связи С2000-КДЛ рассматривается как ключевой элемент, способный обслуживать до 127 адресных устройств, что соответствует потребностям крупных промышленных объектов или многофункциональных комплексов. Адресный принцип формирования шлейфов дает возможность сразу же идентифицировать точное место срабатывания, будь то дистанционно управляемая тепловая головка С2000-ИП-02-02 или дымовой извещатель ДИП-34А-01-02. Архитектура кольцевой топологии предусматривает дублирующую передачу данных, повышающую

надежность системы и дающую возможность определить локализацию неисправности при обрыве части линии.

Рассмотрение функционала подобной адресно-интеллектуальной системы включает оценку вероятности безотказной работы в течение определенного промежутка времени, что диктует необходимость проведения вероятностных расчетов. Математическая модель надежности предполагает оценку совокупной вероятности отказа для группы шлейфов, датчиков и управляющих модулей. При условии, что отдельные элементы характеризуются экспоненциальным законом распределения наработки на отказ, можно ввести формулу (10):

$$P_{\text{обр}}(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t\right), \quad (10)$$

где  $P_{\text{обр}}(t)$  - вероятность безотказной работы системы за интервал времени  $t$ ;

$\lambda_i$  - интенсивность отказов  $i$ -го элемента (1/ч);

$n$  - количество элементов системы, задействованных в общей схеме контроля и управления [3].

Применение формулы (10) предполагает, что выход из строя одного из критически важных узлов может нарушить общую цепочку приема или передачи сигналов, если речь идет об узко-дублированном фрагменте архитектуры.

Однако наличие кольцевой топологии и резервирования позволяет значительно уменьшить суммарную интенсивность отказов за счет возможности сохранения работоспособности при отказе одного участка. Тогда в сумму  $\sum \lambda_i$  не входят элементы, для которых реализовано полное дублирование, поскольку их выход из строя не приводит к полной недоступности системы.

Допустим, что в каждом шлейфе используется 50 адресных датчиков, вероятность выхода которых из строя в течение  $10^3$  ч каждого составляет 0.0001 (т. е.  $\lambda = 1 \times 10^{-4} \text{ч}^{-1}$ ). Предположим, что интенсивность отказа одного контроллера С2000-КДЛ находится в пределах  $2 \times 10^{-5}$  ч, а пульта С2000М –  $1 \times 10^{-5}$ . Суммарная интенсивность  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$  без учета резервирования датчиков (предполагается, что каждый датчик необратимо выводит из строя участок) может быть записана как (11):

$$\Lambda_{\text{сум}} = 50 \cdot (1 \times 10^{-4}) + 2 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-3} + 3 \times 10^{-5} \quad (11)$$

Численно это будет  $0.00503 \text{ ч}^{-1}$ . Если нужно узнать вероятность безотказной работы за 500 ч, то по (3.1):

$$P_{\text{обр}}(500) = \exp(-0.00503 \times 500) = \exp(-2.515) = 0.0808$$

Значение порядка 8,08% кажется слишком низким, что указывает на необходимость учитывать реальные схемы резервирования и кольцевой организации связи, при которых отказ одного датчика или части линии не обнуляет функционирование всей сети.

Наличие двух путей ДПЛС (ДПЛС1 и ДПЛС2) сокращает вероятность полного отказа, поскольку сигнал может проходить в обход поврежденного участка. Если ввести коэффициент дублирования  $k$ , уменьшающий суммарную интенсивность отказов в 1,5 – 2 раза (в зависимости от степени резервирования), итоговая вероятность окажется значительно выше.

Важным аспектом при построении адресной системы сигнализации является контроль исправности ее компонентов, который должен осуществляться непрерывно, без выведения всей сети из эксплуатации. Программная диагностика, заложенная в С2000-КДЛ и сопряженных блоках, позволяет оперативно оповещать оператора о разрывах шлейфа, сбоях в работе конкретных извещателей или о кратковременных скачках напряжения. Состояния «Нет связи ДПЛС1», «Нет связи ДПЛС2» регистрируются пультом

С2000М и передаются при необходимости на УОО СПИ «Молния», что гарантирует быстрое принятие решений о проверке и устранении неисправности.

Подобный уровень контроля недостижим в конвенциональных (неадресных) схемах, которые лишь суммарно показывают присутствие возгорания в шлейфе, но не указывают конкретный участок. При проектировании крупных объектов, имеющих десятки помещений, сей факт существенно влияет на время поиска и ликвидации неисправностей.

Практический опыт внедрения интеллектуальных систем указывает на потребность вычислить общее число извещателей, исходя из параметров площади помещений, вероятности ложных срабатываний и желаемой дискретности выявления очага. Для подсчета рекомендуется использовать формулу (12):

$$n = \left\lceil \frac{S_{\text{общ}}}{S_{\text{н}}} \right\rceil, \quad (12)$$

где  $n$  - искомое количество установленных датчиков (ед.),

$S_{\text{общ}}$  - суммарная площадь всех контролируемых помещений,  $\text{м}^2$ ,

$S_{\text{н}}$  - нормативная площадь, покрываемая одним датчиком дымового или теплового типа,  $\text{м}^2$ ,

$\lceil x \rceil$  - округление до ближайшего большего целого [11].

Согласно нормам, один дымовой извещатель может контролировать  $80 \dots 100 \text{ м}^2$  в зависимости от высоты потолка, наличия перегородок и скорости возможного распространения дыма. Если комплекс, подлежащий защите, имеет суммарную площадь  $2400 \text{ м}^2$  и выбрано значение  $S_{\text{н}} = 90 \text{ м}^2$ , формула (12) дает:

$$n = \left\lceil \frac{2400}{90} \right\rceil = \lceil 26.666 \dots \rceil = 27$$

Выбор 27 адресных извещателей, из которых часть может быть дымовыми ДИП-34А-01-02, а часть – тепловыми С2000-ИП-02-02, обуславливается требованиями к своевременному обнаружению различных типов возгораний.

В таблице 7 представлена организация данных по количеству датчиков, их типам и зонам установки облегчает проектировочные решения.

Таблица 7 – Разбивка адресных извещателей по типу и назначению

Тип извещателя	Число датчиков, ед.	Предполагаемая зона покрытия	Особенности монтажа
Дымовые ДИП-34А-01-02	15	Основные помещения, коридоры	Определение наличия аэрозольных частиц
Тепловые С2000-ИП-02-02	10	Цеха с повышенным тепловыделением	Реагирование на рост температуры
Ручные ИПР 513-ЗАМ исп. 01	2	Выходы на лестничные клетки	Аварийный запуск сигнала «Пожар»

Рассматриваемая конфигурация адресной системы, за счет возможности работы с кольцевым ДПЛС, предполагает подключение этих 27 устройств к одному контроллеру С2000-КДЛ, который питается от блока бесперебойного питания РИП 12 RS. Критически важно контролировать соответствие суммарной длины кабельных линий расчетным требованиям по сопротивлению и допустимому падению напряжения, иначе в самых удаленных точках сигналы будут искажаться.

Проверка соответствия требованиям предполагает введение формулы (13) для расчета падения напряжения  $\Delta U$  в линии:

$$\Delta U = I_{\text{шлейф}} \times R_{\text{провод}} \times L, \quad (13)$$

где  $\Delta U$  - падение напряжения, В;

$I_{\text{шлейф}}$  - общий ток потребления, А, суммируемый по всем извещателям;

$R_{\text{провод}}$  - удельное сопротивление провода, Ом/м;

$L$  - полная длина участка, м. [16]

Если каждое устройство в режиме ожидания потребляет 0.0005 А , а в режиме тревоги -0.0008 А , при одновременном срабатывании 10 датчиков возможно возрастание общего тока шлейфа до 0.008 А. Пусть удельное сопротивление кабеля, выбранного для ДПЛС, равно 0.009 Ом/ м (учитывая два проводника), а длина кольцевой линии составляет 400 м , учитывая ответвления. Подстановка в (3.4) дает:

$$\Delta U = 0.008 \times 0.009 \times 400 = 0.0288 \text{ В}$$

Такое падение напряжения невелико и допустимо, но при значительно более длинных линиях или повышенных токах, возникающих при большом числе устройств, может потребоваться увеличение сечения проводов или разделение шлейфа на несколько независимых ветвей. Критерием нормальной работы адресных извещателей обычно служит величина питания, не падающая ниже 8-9 В (при номинале 12 В). Специалисты, разрабатывающие схемы, вносят поправки на пусковые токи некоторых датчиков, кратковременно возрастающие при переходе в режим тревоги.

Практическое внедрение интеллектуальной системы, описанной выше, приводит к необходимости взаимодействия с комплексами СОУЭ, управления клапанами и другими элементами противопожарной автоматики. Пульт С2000М, получив сигнал о превышении порога температуры или задымления в одном из адресных извещателей, либо при ручном нажатии ИПР 513-3АМ исп.01, передает управляющий импульс на сигнально-пусковой блок С2000-СП1, который активирует звуковую и световую сигнализацию, отключает вентиляцию, при необходимости подает команду закрыть противопожарные клапаны и задействует механизмы системы СКУД для разблокировки путей эвакуации.

Возможен автоматический вызов пожарных подразделений при помощи УОО СПИ «Молния», который ретранслирует информацию на пульт диспетчеризации МЧС. Подобная интеграция гарантирует, что дальнейшая эскалация пожара будет предотвращена или значительно замедлена,

поскольку первичный сигнал поступает незамедлительно, и алгоритм реагирования задействуется практически мгновенно.

Успех построения подобной системы во многом зависит от правильного выбора вида извещателей и их расположения. При наличии зон с резкими колебаниями температуры или запыленности (склады, производственные цеха) предпочтительно применять тепловые извещатели с адаптивной характеристикой, способные дифференцировать резкое повышение температуры от фоновых колебаний. В офисных и вспомогательных помещениях, где накопление дыма происходит быстрее, устанавливаются дымовые оптико-электронные датчики, наиболее чувствительные к аэрозольным включениям. Грамотное комбинирование различных типов извещателей позволяет снизить риск как ложных срабатываний, так и пропуска реального возгорания.

Завершая рассмотрение методических основ организации адресно-интеллектуальной системы, уместно подчеркнуть, что описанная структура не исчерпывает возможных дополнений. Существуют дополнительные модули, такие как С2000-КПБ для управления эвакуацией, С2000-АР2 для контроля внешних сигналов от клапанов и прочих устройств, а также программное обеспечение, упрощающее интеграцию в единую диспетчерскую среду.

Технически оправдана и возможность расширения линии за счет дополнительных контроллеров и включения элементов интеллектуального пожаротушения, способных запускать генераторы пены или аэрозольные модулей тушения при получении соответствующего сигнала.

Сохранение непрерывного контроля состояния устройств, их диагностика и резервирование ресурсов питания формируют базу для высокой надежности и длительной эксплуатации системы, ориентированной на предупреждение и оперативное подавление очагов возгорания.

### **3.2 Алгоритмы и расчеты параметров оповещения и эвакуации людей**

Анализ способов оповещения о пожаре и организации эвакуации в рамках современного централизованного комплекса пожарной сигнализации требует обращения к системам типа СО-2, которые обеспечивают одновременную подачу звуковых и световых сигналов, а также гарантируют возможность трансляции речевых уведомлений. Подобные системы, устанавливаемые в многофункциональных зданиях, рассчитаны на срочное информирование большого числа людей, что предполагает разработку специализированных алгоритмов, управляющих релейными блоками и приводящих в действие сирены, строб-указатели и табло «Выход».

Налаженность таких алгоритмов особенно актуальна, когда требуется запустить эвакуационные мероприятия в помещениях различного назначения (офисы, цеха, склады, зоны общего пользования), имеющих разную степень пожарной опасности и неодинаковое время вывода персонала. Проектные решения диктуют обязательное объединение пульта управления С2000М, контрольно-пусковых блоков С2000-КПБ, а также звуковых и световых оповещателей, работающих на основе напряжения 12 В или 24 В постоянного тока.

Техническая сторона алгоритма функционирования системы оповещения подразумевает, что при сигнале «Пожар» от датчика, переданном в контроллер двухпроводной линии связи, и далее в пульт управления С2000М, происходит формирование команды на блок С2000-КПБ. Данный блок включает цепи подачи напряжения на звуковые оповещатели, которые генерируют высокочастотные сигналы интенсивностью 90... 105 дБ, а также активирует световые указатели «Выход» и соответствующие табло направления движения на путях эвакуации.

Подобная схема предполагает, что каждый КПБ контролирует целостность своих цепей, чтобы в случае неисправности линии ответственное лицо могло немедленно принять меры для устранения неполадок.

Практическое проектирование СОУЭ типа СО-2 предполагает математический расчет времени оповещения и эвакуации. Одним из используемых методов является определение времени, в течение которого люди, услышав сигнал, покидают помещение, передвигаясь по коридорам и лестничным маршам к точкам выхода.

Длительность подобного процесса можно оценить на основании формулы (14):

$$t_{\text{эвак}} = t_{\text{оп}} + \frac{L_{\text{марш I}}}{v_{\text{пеш}}} + t_{\text{двер}}, \quad (14)$$

где  $t_{\text{эвак}}$  - полное время эвакуации, мин;

$t_{\text{оп}}$  - время, необходимое для восприятия звукового сигнала и принятия решения об эвакуации (мин);

$L_{\text{марш}}$  - суммарная длина пути к эвакуационному выходу (м);

$v_{\text{пеш}}$  - скорость движения людей, м/мин, зависящая от плотности потока;

$t_{\text{двер}}$  - дополнительное время, затрачиваемое на открытие дверей, мин [13].

Если принять  $t_{\text{оп}} = 0.5$  мин (моментальное восприятие сигнала при нормальном уровне звука),  $L_{\text{марш}} = 50$  м,  $v_{\text{пеш}} = 30$  м / мин,  $t_{\text{двер}} = 0.5$  мин, тогда:

$$t_{\text{эвак}} = 0.5 + \frac{50}{30} + 0.5 = 0.5 + 1.67 + 0.5 = 2.67 \text{ мин.}$$

Цифра 2.67 мин удовлетворяет требованиям большинства нормативных документов для помещений небольшой вместимости, где быстрое

реагирование возможно за счет четко слышимого сигнала и относительно короткого пути к выходу. При возрастании длины эвакуационного пути или при более низкой пропускной способности коридоров (скорость 20-25 м/мин) общее время может возрасти до 3-4 мин, что заставляет разработчиков СОУЭ пересматривать число оповещателей, громкость сигнала, размер и расположение световых табло, а иногда и конфигурацию путей эвакуации.

Учет этажности здания, распределения персонала и вероятных мест возникновения пожара добавляет еще один слой сложности, поскольку возникает необходимость в дифференцированном управлении и, возможно, поочередной подаче сигналов в разные зоны, чтобы избежать заторов.

Интеллектуальный уровень таких систем проявляется в способности автоматически анализировать, какие именно зоны должны быть немедленно оповещены, а какие могут дожидаться уточнения информации. Пульт С2000М, получая сигнал «Пожар» из определенной группы извещателей, может задействовать сразу все оповещатели или применить заданный алгоритм задержки в отдаленных зонах, чтобы не вызвать панику и обеспечить равномерный выход персонала.

Подобные решения не всегда позволяют строго следовать линейной схеме расчета (14), поэтому при больших площадях, где одновременная эвакуация нежелательна, вводятся поправки на формирование потоков, учитываемых в отдельном математическом аппарате.

Число и мощность оповещателей, требуемых для обеспечения необходимого уровня звука, рассчитывается на основе формулы (15):

$$L_{\text{общ}} = L_{\text{ист}} - 20 \log_{10} \left( \frac{r}{r_0} \right) - A, \quad (15)$$

где  $L_{\text{общ}}$  - итоговый уровень звука (дБ) в заданной точке;

$L_{\text{ист}}$  - уровень звукового давления на расстоянии  $r_0$  от оповещателя (дБ);

$r$  - расстояние от оповещателя (м);

$r_0$  - базовое расстояние (м), на котором замеряется  $L_{ист}$  ;

$A$  - суммарные потери на звукопоглощение (дБ) [6].

Применение (15) необходимо для проверки, будет ли сигнал оповещения достаточен, чтобы преодолеть фоновый шум и распространиться по всей площади помещений. Предположим, что оповещатель имеет  $L_{ист} = 100$  дБ на расстоянии 1 м, а на пути звука в 15 м возникают потери в 3 ... 5 дБ из-за дверных проемов и звукопоглощающих поверхностей. Подстановка в формулу при  $r_0 = 1$  м,  $r = 15$  м и  $A = 4$  дБ дает:

$$L_{общ} = 100 - 20\log_{10}(15) - 4 = 100 - 20 \cdot 1.1761 - 4 = 100 - 23.522 - 4 = 72.478 \text{ дБ.}$$

Полученное значение 72.478 дБ может считаться достаточным для большинства административно-бытовых помещений, где фоновый шум редко превышает 60-65 дБ. Однако в производственных зонах, где уровень шума достигает 75...80 дБ, такой оповещатель будет недостаточно громким.

Разработчики систем СОУЭ решают данную проблему путем добавления дополнительных оповещателей либо применения более мощных устройств. Технически целесообразно объединять звуковое оповещение с визуальными предупреждениями в виде мигающих строб-устройств, поскольку в шумной среде вероятность вовремя услышать сирену уменьшается.

Показатели расчета звуковых оповещателей в зависимости от расстояния и потерь представлены в таблице 8.

Автоматический запуск системы звуковой и световой сигнализации сочетается с отключением вентиляционных систем и управлением клапанами, чтобы не допустить быстрого распространения дыма.

Таблица 8 – Показатели расчета звуковых оповещателей

Расстояние до источника, м	Уровень на 1 м, дБ	Потери на звукопоглощение, дБ	Итоговый уровень, дБ	Рекомендация
10	100	3	77.0	установка 1 оповещателя достаточна
15	100	4	72.5	Возможно усиление мощности
20	100	5 ... 6	66 ... 67	Требуется дополнительный источник

В ходе эвакуации люди ориентируются на визуальные указатели «Выход» и подсвеченные стрелки, расположенные в коридорах. Для большей эффективности рекомендуется сохранять достаточный уровень освещенности, поэтому С2000-КПБ должен быть сопряжен с системами аварийного электроснабжения, обеспечивающего работу световых табло и ламп освещения, даже если основная сеть обесточена пожаром.

Инженерно-технические расчеты, приведенные выше, отражают лишь часть реальной картины, поскольку имеют место факторы паники, непредвиденные блокировки проходов и человеческие ошибки при восприятии сигналов. Алгоритмические сценарии включают функции ручного управления, дающие возможность оператору (в случае ложной тревоги или нестандартной ситуации) изменить логику включения оповещателей, перенастроить зоны отключения вентиляции либо локализовать сообщение о пожаре только в одном крыле здания. Подобное вмешательство оператора оправдано там, где системы автоматического тушения не установлены или ориентированы на конкретные типы возгораний.

Завершая обсуждение алгоритмов и расчетных методов для систем оповещения и управления эвакуацией, необходимо подчеркнуть важность планового тестирования. Реальные учения, проводимые на объекте,

фиксируют показатели времени, за которое люди выходят из различных зон, и степень слышимости сигналов.

На основе полученных данных корректируются мощности оповещателей, добавляются речевые модули (в том числе многоязычные), пересматривается расстановка приборов и направление основных потоков. Все перечисленные аспекты направлены на сокращение вероятности человеческих жертв и материального ущерба, а также на повышение общей эффективности пожарной безопасности.

### **3.3 Математические расчеты и организационные аспекты управления противопожарными клапанами**

Функциональный комплекс управления противопожарными клапанами предназначен для автоматического либо дистанционного закрытия воздуховодов при обнаружении возгорания, что предотвращает стремительное распространение пламени, дыма и токсичных газов по сети вентиляции.

Техническая реализация подобной системы опирается на взаимодействие контроллеров С2000-КДЛ, пульта С2000М, блоков «С2000-АР2», получающих сигналы о положении клапанов, и контрольно-пусковых модулей «С2000-КПБ», подающих управляющий импульс на исполнительные механизмы. Организационно-технологическая сторона включает автоматический режим (по команде от пожарных извещателей), дистанционный (по ручному извещателю) и местный, при котором закрытие клапана выполняется непосредственно с блоков управления, находящихся вблизи каждого канала.

Проектирование аналогичной системы предполагает учет времени, необходимого для срабатывания клапана, сопротивления воздушному потоку, а также рисков ложных срабатываний, которые могут привести к блокированию вентиляции в момент, когда никакого пожара нет.

Математическая модель закрытия клапана может рассматриваться как процесс с конечным временем перехода в уставку, который описывается уравнением (16):

$$\Theta(t) = \Theta_{\max}[1 - e^{-at}], \quad (16)$$

где  $\Theta(t)$  - угловое перемещение заслонки клапана в момент времени  $t$ ;

$\Theta_{\max}$  - максимально возможное угловое отклонение (при полностью закрытом состоянии заслонки),

$a$  - коэффициент, определяемый скоростью срабатывания привода [12].

Если требуется, чтобы клапан полностью закрылся за 10 с, а  $\Theta_{\max} = 90^\circ$ , величина  $a$  подбирается по условию  $\Theta(10) = 0.99 \cdot 90^\circ = 89.1^\circ$ . Подстановка в (16):

$$89.1 = 90[1 - e^{-a \cdot 10}].$$

Дробь  $\frac{89.1}{90} = 0.99$ . Следовательно:

$$0.99 = 1 - e^{-10a}, e^{-10a} = 0.01, -10a = \ln(0.01), a = -\frac{\ln(0.01)}{10}.$$

Учитывая, что  $\ln(0.01) = -4.60517$ , получается  $a = 0.460517 \text{ с}^{-1}$ . Расчет указывает, что при  $a = 0.46 \text{ с}^{-1}$  клапан достигает практически полного закрытия за 10 с. Аналогичная модель может быть применена к различным конструкциям клапанов, где характерен экспоненциальный либо близкий к тому закон движения.

Управляющие сигналы, передаваемые на блоки «С2000-КПБ», имеют вид электрических импульсов напряжением 12 В постоянного тока, которые запускают привод заслонки. Контроль текущего положения (открыт/закрыт) обеспечивается блоками расширителей «С2000-АР2», которым поступает информация от концевых выключателей либо датчиков Холла внутри клапана. Процессор пульта С2000М, анализируя статусы, отображает их на

соответствующем канале, позволяя оператору видеть общее состояние системы.

Проектировщики придерживаются принципов минимизации ложных срабатываний, поскольку внезапное закрытие клапанов может нарушить вентиляцию и вызвать нежелательные последствия, включая перегрев оборудования или избыточное давление в воздуховодах.

В качестве решения используется адресная логика, при которой от клапана требуется не только сигнал «Пожар», но и подтверждение с близлежащих извещателей, расположенных в той же зоне. Реализация подобного подхода предполагает комплексную логическую схему, где сигналы от термодатчиков, дымовых извещателей и даже ручных кнопок дополнительно анализируются С2000М на предмет взаимного подтверждения.

Расчет числа клапанов, необходимых для изоляции помещений друг от друга, зависит от конфигурации вентиляционных магистралей, огнестойкости перегородок и вероятного объема дымовых газов, способных поступить из одной зоны в другую. При условии, что объект содержит 4 этажа и на каждом имеется по 2 основных вентиляционных магистрали, ведущих к общему стволу, может понадобиться до 8...10 клапанов, чтобы перекрыть потоки при чрезвычайной ситуации. Каждая магистраль комплектуется как минимум 1 противопожарным клапаном, интегрированным с системой управления.

Подобное количество можно вывести из формулы (17), где:

$$n_{\text{клап}} = m_{\text{маг}} \times k_{\text{ур}}, \quad (17)$$

где  $n_{\text{клап}}$  - искомое число клапанов,

$m_{\text{маг}}$  - число вентиляционных магистралей на одном уровне,

$k_{\text{ур}}$  - количество уровней или этажей [23]. Если  $m_{\text{маг}} = 2$  и  $k_{\text{ур}} = 4$ ,

тогда:

$$n_{\text{клап}} = 2 \times 4 = 8$$

В реальности проект может содержать резервные линии, аварийные отводы, технические этажи, где проложены дополнительные каналы, что увеличивает итоговое число до 10-12. Подобная информация должна быть обобщена в таблице, учитывающей расположение клапанов, их сечение и характеристики.

В таблице 9 представлена номенклатура противопожарных клапанов.

Таблица 9 – Номенклатура противопожарных клапанов

Позиция клапана	Этаж	Диаметр/сечение, мм	Привод	Режим управления
КПК-1	1	200 × 200	Электромеханический	Автоматический, ручной
КПК-2	1	250 × 250	Электромеханический	Автоматический, местный
КПК-3	2	200 × 200	Электромеханический	Автоматический, ручной
КПК-4	2	200 × 200	Электромеханический	Дистанционный, местный
КПК-5	3	300 × 300	Электропривод	Автоматический, ручной
КПК-6	3	200 × 200	Электромеханический	Автоматический, местный
КПК-7	4	250 × 250	Электромеханический	Автоматический, ручной
КПК-8	4	200 × 200	Электромеханический	Дистанционный, местный

Режим «Автоматический» означает, что сигнал о пожаре от системы АУПС (автоматической установки пожарной сигнализации) приводит к мгновенному закрытию клапана, «Ручной» указывает на возможность отправки сигнала от ручного пожарного извещателя, а «Местный» - управление непосредственно на месте установки через блок БУОК.

Сочетание нескольких режимов обеспечивает универсальность эксплуатации, давая персоналу возможность экстренно перекрыть воздуховод даже при отсутствии сигнала от центральной системы (при технических работах или в момент тестирования).

Организационные аспекты предполагают разработку регламентных процедур проверки работоспособности клапанов: не реже 1 раза в месяц проводится их контрольное закрытие и открытие, контролируется соответствие времени срабатывания нормативу (обычно 10-15 с).

При обнаружении отклонений (увеличение времени закрытия, повышенные шумы или люфт заслонки) клапан выводится в ремонт, а система переходит в дежурный режим с учетом потери одного из звеньев. Протоколы испытаний фиксируются в журнале, а при наличии интеллектуальных модулей - дополнительно заносятся в память С2000М и могут быть переданы на персональный компьютер по интерфейсу RS-485.

Совместное функционирование систем управления клапанами, оповещения СОУЭ и адресной пожарной сигнализации образует целостный механизм, где данные от извещателей моментально влияют на состояние вентклапанов и параметры воздушного обмена. Подобный подход обеспечивает высокую эффективность предотвращения задымления на путях эвакуации и снижает температуру во время пожара за счет быстрого отключения подачи свежего воздуха. Использование контроллеров С2000-АР2 для считывания сигналов о положении клапанов позволяет центральному пульту иметь полную картину происходящего, отслеживая динамику закрытия и решая, необходимо ли задействовать дополнительные меры, например, остановку вентиляторов или активацию дымоудаляющих устройств.

На практике усовершенствование описанной схемы может включать дополнительные интеллектуальные функции, такие как прогнозирование распространения дыма на основе данных о скорости воздушных потоков и температурных датчиках в каналах. Современные алгоритмы управления способны учитывать несколько источников пожара, автоматически перенастраивать направления воздушных потоков и закрывать клапаны в тех ветвях, которые подвергаются наибольшей угрозе.

Указанные разработки зачастую сопряжены с использованием специализированных программных пакетов, позволяющих визуализировать

положение клапанов в реальном времени и динамически рассчитывать зоны риска.

Отдельно анализируется вопрос энергонезависимости системы при отключении электропитания во время возгорания. С2000-КПБ, С2000-КДЛ и прочие узлы должны получать питание от блоков бесперебойного питания (РИП 12 RS или аналогов), имеющих аккумуляторы достаточной емкости, чтобы обеспечивать открытие/закрытие клапанов и подачу сигналов в течение не менее 30-60 мин.

Расчет емкости батарей предполагает суммирование токов потребления всех устройств, умноженных на необходимое время автономной работы. Для системы, где суммарный ток потребления 1 А, а желаемое время 60 мин, необходим аккумулятор 1 А.ч с учетом снижения емкости при пониженных температурах и старении. Часто выбирается аккумулятор 4-7 А.ч в качестве запаса, чтобы гарантировать бесперебойную работу, учитывая пусковые токи приводов клапанов.

Подобная интеграция вычислительной и организационной составляющих формирует прочную основу для эффективного управления противопожарными клапанами. Ключ к успеху заключается в налаженной системе контроля, которая непрерывно отслеживает состояние линий связи, поддерживает корректность адресов, своевременно обнаруживает обрывы или замыкания.

Методическая точность в сочетании с автоматической или ручной оперативностью гарантирует, что при появлении опасного задымления или открытого горения в одной из зон немедленно будут сработаны исполнительные механизмы, а информация о срабатывании зафиксирована в пульте и при необходимости передается в диспетчерскую службу МЧС.

Взаимодействие технических и человеческих ресурсов, подкрепленное математическими расчетами и регламентированными мероприятиями, действительно позволяет поддерживать высокий уровень пожарной безопасности в современных объектах.

### Выводы по разделу 3

Анализ положительных и отрицательных аспектов применения интеллектуального оборудования для пожаротушения выявил значительное преимущество современных технологий в повышении надежности и оперативности реагирования на возгорания. Исследование структуры организации интеллектуальной инфраструктуры позволило обосновать целесообразность внедрения автоматизированных систем оповещения, прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций и дистанционного управления основными технологическими процессами.

Расчеты параметров эвакуации и алгоритмы управления противопожарными клапанами показали, что интеллектуальные системы способны адаптироваться к быстро меняющимся условиям, обеспечивая тем самым максимальную защиту персонала и материальных ценностей. Научное обоснование организационных и технических решений продемонстрировало, что интеграция интеллектуальных компонентов существенно снижает человеческий фактор и вероятность возникновения критических ошибок в процессе ликвидации пожара. Внедрение математических моделей и программных средств для автоматизированного управления всеми этапами пожаротушения способствует оптимизации распределения ресурсов, а также сокращению времени на обработку информации и принятие решений.

Проведенный сравнительный анализ эффективности существующих и перспективных подходов подтвердил приоритет интеллектуализации пожарной инфраструктуры как необходимого условия повышения общей техносферной безопасности. Совокупность полученных результатов дает основания для дальнейшей модернизации системы управления рисками на объектах с высокой пожарной опасностью.

## 4 Охрана труда

В ходе реализации проекта, направленного на внедрение интеллектуального оборудования для пожаротушения в структуру Пожарного депо ПСЧ № 19, выполнен анализ условий труда личного состава и выявлены потенциальные риски, возникающие при ежедневной эксплуатации специальной техники и при осуществлении боевых выездов.

Методические основы проведения идентификации профессиональных рисков опираются на действующие правовые акты, в том числе на приказы, регламентирующие процедуры оценки условий труда и прогнозирования опасностей, связанных с выполнением обязанностей пожарных и диспетчеров.

С учетом специфики Пожарного депо ПСЧ № 19 и его штатной структуры определены приоритетные рабочие места, требующие подробного рассмотрения с точки зрения безопасности:

- водитель пожарного автомобиля (эксплуатация автоцистерн и вспомогательной техники);
- оператор насосно-рукавного оборудования (обслуживание и настройка современных роботизированных стволов);
- боец газодымозащитной службы.

Мониторинг и формирование реестра существующих опасностей позволили выявить несколько ключевых групп рисков, касающихся как технических, так и организационных аспектов. Факторами, требующими приоритетного внимания, признаны поражение электрическим током при неисправности интеллектуальных узлов или систем дистанционного управления, термические ожоги при взаимодействии с высокотемпературными очагами и химические воздействия в ситуациях утечки пенообразователей и прочих реагентов.

Критический анализ рабочей среды рассматривает совокупность факторов (электрофизическая нагрузка, тепловое излучение, механические

воздействия, психоэмоциональные нагрузки), что обеспечивает комплексный подход к охране труда личного состава. Характеристика рабочего места представлена в таблице 10. Реестр рисков на рабочем месте представлен в таблице 11.

Таблица 10 – Характеристика рабочего места

Наименование рабочего места	Оборудование, инструмент на рабочем месте	Материалы, вещества	Виды выполняемых работ, трудовых операций
Водитель пожарной автоцистерны	Пожарные автоцистерны, оснащенные интеллектуальными насадками; радиостанции; приборы контроля стабилизации; СИЗ	Топливо-смазочные материалы, пенообразователь, вода, запасные части для обслуживания автоцистерны	Управление транспортным средством, подача огнетушащих средств, поддержка боевого расчета при развертывании
Оператор насосно-рукавного оборудования	Интеллектуальные модульные насосы, дозаторы пены, механизмы наведения роботов-стволов, СИЗ (перчатки, каска, костюм)	Пенообразователь и разного типа, вода, электрокабели, рукавные линии, аккумуляторы питания	Подготовка насосов к работе, настройка расхода и давления, контроль высокотехнологичных систем роботизированного тушения
Боец газодымозащитной службы (ГДЗС)	Изолирующие дыхательные аппараты, интеллектуальные планшеты мониторинга дыхательных параметров, тепловизор	Сжатый воздух в баллонах, резервные емкости пенообразователя, материалы для ликвидации вторичных очагов	Ведение разведки в зоне задымления, использование тепловизоров, координация действий в условиях высокой температуры и ограниченной видимости

Таблица 11 – Реестр рисков на рабочем месте

Опасность	ID	Опасное событие
Поражение электрическим током	R1	Неисправность кабелей или контактных узлов интеллектуального насоса, повреждение изоляции в блоке автоматического управления
Термические ожоги при контакте с высокотемпературными поверхностями	R2	Раскаленные детали насадок, брызги горячей пены при сильном напоре, работа в зоне интенсивного теплового излучения

Продолжение таблицы 11

Опасность	ID	Опасное событие
Вдыхание опасных аэрозолей или газов	R3	Нарушение работы систем вытяжки и фильтрации, некорректная подача пенообразователя, утечка химических реагентов
Взрывоопасность некоторых смесей (аэрозоль-пена, горючие пары)	R4	Неконтролируемое смешение при разгерметизации баллонов с воздухом и пенообразователем
Подскользывание на скользкой поверхности ангара	R5	Вода, пена или талый снег, переносимые по полу в момент боевого развертывания
Механические травмы при обслуживании роботизированной установки	R6	Сдавливание элементов руки-манипулятора, попадание конечностей в движущие соединения

Согласно Приказу Минтруда России от 28.12.2021 № 926, для каждой опасности определяются вероятность (A) и тяжесть (U), результаты сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Анкета рабочего места

Рабочее место	Опасность	Опасное событие	Степень вероятности, A	Коэффициент, A	Тяжесть последствий, U	Коэффициент, U	Оценка риска, R	Значимость оценки риска
Водитель автоцистерны	Поражение электрическим током (R1)	Замыкание в системе управления насосом	Маловероятно	2	Крупная	4	8	Низкий (1–8)
Водитель автоцистерны	Термические ожоги (R2)	Контакт с узлом высокой температуры, брызги горячей жидкости	Возможно	3	Незначительная	2	6	Низкий (1–8)
Оператор насосного модуля	Вдыхание аэрозолей (R3)	Неисправность фильтров или уплотнений в зоне пенообразователя	Вероятно	4	Значительная	3	12	Средний (9–17)

Продолжение таблицы 12

Рабочее место	Опасность	Опасное событие	Степень вероятности, А	Коэффициент, А	Тяжесть последствий, U	Коэффициент, U	Оценка риска, R	Значимость оценки риска
Боец ГДЗС	Взрывоопасность (R4)	Ошибка при срабатывании и давления в баллонах или выход из строя клапанов	Маловероятно	2	Крупная	4	8	Низкий (1–8)
Боец ГДЗС	Подскользывание (R5)	Скользкий пол при проливе пены или воды	Возможно	3	Незначительная	2	6	Низкий (1–8)
Оператор насосного модуля	Механические травмы (R6)	Сдавливание движущими узлами роботизированного ствола при настройке	Возможно	3	Значительная	3	9	Средний (9–17)

Оценка вероятности представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Оценка вероятности

Степень вероятности		Характеристика	Коэффициент, А
1	Весьма маловероятно	- Практически исключено - Зависит от следования инструкции - Нужны многочисленные поломки/отказы/ошибки	1
2	Маловероятно	- Сложно представить, однако может произойти - Зависит от следования инструкции - Нужны многочисленные поломки/отказы/ошибки	2
3	Возможно	- Иногда может произойти - Зависит от обучения (квалификации) - Одна ошибка может стать причиной аварии/инцидента/несчастного случая	3

Продолжение таблицы 13

Степень вероятности		Характеристика	Коэффициент, А
4	Вероятно	- Зависит от случая, высокая степень возможности реализации - Часто слышим о подобных фактах - Периодически наблюдаемое событие	4
5	Весьма вероятно	- Обязательно произойдет - Практически несомненно - Регулярно наблюдаемое событие	5

Оценка степени тяжести последствий представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Оценка степени тяжести последствий

Тяжесть последствий		Потенциальные последствия для людей	Коэффициент, U
5	Катастрофическая	- Групповой несчастный случай на производстве (число пострадавших 2 и более человек); - Несчастный случай на производстве со смертельным исходом; - Авария; - Пожар;	5
4	Крупная	- Тяжелый несчастный случай на производстве (временная нетрудоспособность более 60 дней); - Профессиональное заболевание. - Инцидент	4
3	Значительная	- Серьезная травма, болезнь и расстройство здоровья с временной утратой трудоспособности продолжительностью до 60 дней; - Инцидент	3
2	Незначительная	- Незначительная травма - микротравма (легкие повреждения, ушибы), оказана первая медицинская помощь. - Инцидент, - Быстро потушенное загорание.	2
1	Приемлемая	- Без травмы или заболевания; - Незначительный, быстроустраняемый ущерб	1

4. На рисунке 3 показана диаграмма, где по оси X расположены – R1, R2, R3, R4, R5, R6, а по оси Y – соответствующие значения R:

– R1 = 8, R2 = 6, R3 = 12, R4 = 8, R5 = 6, R6 = 9.

Риски со значением 9-17 (R3 и R6) относятся к среднему уровню. В случае высоких рисков (18-25) требуются неотложные корректирующие меры.

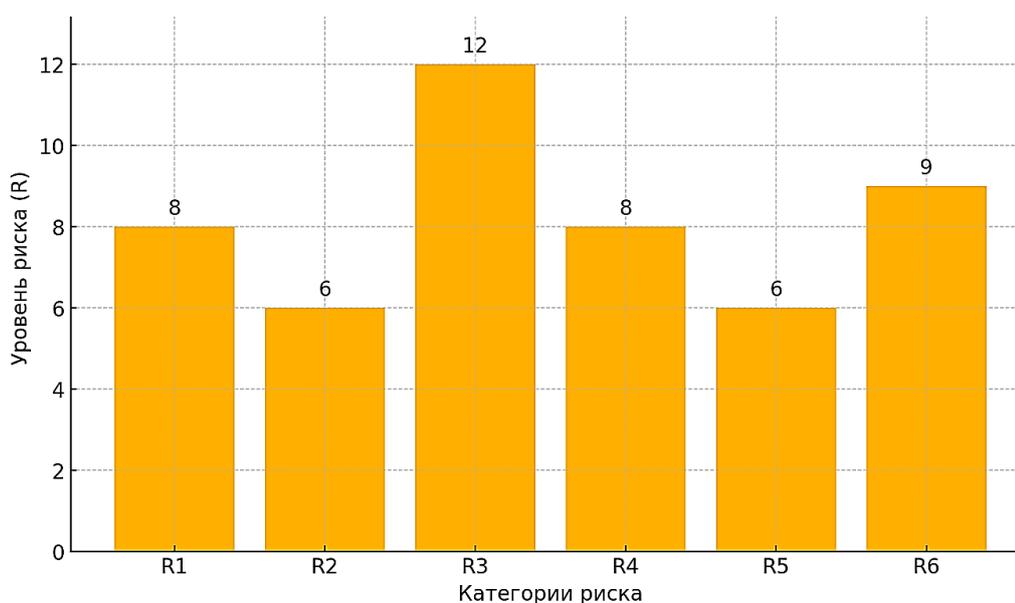


Рисунок 3 – Диаграмма рисков

Анализ значений риска показывает, что наиболее ощутимую опасность представляют ситуации R3 и R6, характеризуемые показателем среднего уровня. Без корректирующих мер возможно повышение травматизма при обслуживании высокотехнологичных модулей, а также риск отравления вредными газами при недостаточной герметичности.

Следует уделить повышенное внимание обязательному обучению навыкам обслуживания интеллектуального оборудования, а также организации дополнительной вентиляции при работе с пенообразователями повышенной летучести или иных реагентов. Грамотная расстановка сигнальных наклеек на узлах и подробная маркировка зон, где происходит

разгрузка и дозирование реагентов, обеспечат существенное снижение вероятности несчастных случаев.

#### Выводы по разделу 4

Исследование вопросов охраны труда в системе эксплуатации интеллектуального оборудования для пожаротушения выявило необходимость строгого соблюдения мер безопасности и регулярного совершенствования программ профессиональной подготовки персонала.

Проведенный анализ регламентирующих документов и оценка факторов производственной среды показали, что повышение уровня защиты работников напрямую связано с внедрением современных средств индивидуальной и коллективной защиты. Практические рекомендации, полученные в ходе работы, подтверждают значимость системного мониторинга состояния оборудования и контроля соблюдения технологических регламентов.

Установлено, что регулярное техническое обслуживание и своевременная диагностика узлов интеллектуальных систем существенно уменьшают риски возникновения несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Особое внимание уделено вопросам организации рабочих мест и оптимизации режимов труда, что способствует снижению утомляемости и повышению общей производственной дисциплины.

Комплексный подход к вопросам охраны труда обеспечивает не только сохранение здоровья персонала, но и устойчивое функционирование интеллектуальных систем в условиях интенсивной эксплуатации. Полученные результаты подтверждают необходимость интеграции охраны труда в стратегию управления качеством на всех этапах жизненного цикла оборудования.

## 5 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность

Перспектива использования интеллектуальных средств пожаротушения в Пожарном депо ПСЧ № 19 напрямую затрагивает вопросы экологического воздействия, поскольку некоторые из применяемых реагентов (пенообразователи, хладоны, порошки) могут представлять потенциальную угрозу для окружающей среды, особенно при утечках или неправильной утилизации.

Антропогенная нагрузка на окружающую среду представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Антропогенная нагрузка на окружающую среду

Наименование объекта	Подразделение	Воздействие на атмосферный воздух	Воздействие на водные объекты	Отходы
Ангары и боксы пожарной техники	Пожарное депо ПСЧ № 19	Выброс углеводородов при работе двигателей автоцистерн, выхлопы дизель-генераторов	Отсутствие прямого сброса в водные объекты, при мойке техники образуются стоки, направляемые на локальные очистные сооружения	Отработанные фильтры, обтирочные материалы, емкости от пенообразователей
Участок подготовки интеллектуальных модулей	Технический сектор	Аэрозольные выбросы при калибровке дозаторов пены, применение вспомогательных газовых смесей	Нет прямых сбросов, но при аварийном проливе возможно загрязнение сточных вод	Бракованные датчики, электронные модули, загрязненная ветошь
Дизель-генераторы резервного питания	Энергетический участок	Выброс оксидов азота, диоксида углерода, частиц сажи при сгорании дизельного топлива	Сточные воды при регулярном обслуживании отсутствуют, либо минимальны	Отработанные масла, масляные фильтры, накопленные твердые отходы

Сведения о применяемых на объекте технологиях представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Сведения о применяемых на объекте технологиях

Структурное подразделение (площадка, цех или другое)		Наименование технологии	Соответствие наилучшей доступной технологии
Номер	Наименование		
1	Пожарное депо ПСЧ № 19 (ангары)	Роботизированная установка пожаротушения, совмещенная с интеллектуальным управлением подачей пены	Частичное соответствие НДТ; необходим учет экологических показателей при использовании агрессивных пенообразователей
2	Энергетический участок	Эксплуатация дизель-генераторов (резервное питание интеллектуальных систем тушения)	Соответствует НДТ при регулярном ТО, контроль выбросов NO <sub>x</sub> и CO
3	Технический сектор	Калибровка дозирующих устройств пенообразователя и анализ газовых смесей в стационарном стенде	При соблюдении герметизации и фильтрации – минимизация выбросов, частичная адаптация к НДТ
4	Лаборатория мониторинга ПСЧ № 19	Контроль качества пены, изучение концентрации газов при экспериментальных запусках	Находится в соответствии с НДТ при условии периодической поверки оборудования

3. Результаты производственного контроля в области охраны атмосферного воздуха.

Перечень загрязняющих веществ, включенных в план-график контроля стационарных источников выбросов представлен в таблице 17. Результаты контроля стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух представлены в таблице 18.

Таблица 17 – Перечень загрязняющих веществ, включенных в план-график контроля стационарных источников выбросов

Наименование загрязняющего вещества
Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )
Оксид углерода (CO)
Взвешенные частицы (аэрозоли металлов)

Таблица 18 – Результаты контроля стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Структурное подразделение (площадка, цех или другое)		Наименование загрязняющего вещества	Предельно допустимый выброс или временно согласованный выброс, г/с	Фактический выброс, г/с	Превышение предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса в раз (гр. 8 / гр. 7)	Дата отбора проб	Общее количество случаев превышения предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса	Примечание
Номер	Наименование							
1	Пожарное депо ПСЧ № 19 (ангары)	Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	0,03	0,035	1,17	15.02.2025	1	Выявлено незначительное превышение, выдано предписание
2	Энергетический участок	Оксид углерода (CO)	0,02	0,018	0,90	15.02.2025	0	Нет превышений
3	Технический сектор	Взвешенные частицы (аэрозоли металлов)	0,02	0,02	1,00	15.02.2025	0	Уровень соответствует нормативу
4	Лаборатория мониторинга ПСЧ № 19	Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	0,015	0,015	1,00	15.02.2025	0	Показатель в пределах нормы
							1 Превышение NO <sub>x</sub>	Зафиксирован 1 случай превышения по NO <sub>x</sub>

#### 4. Результаты производственного контроля в области охраны и использования водных объектов

Результаты проведения проверок работы очистных сооружений представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Результаты проведения проверок работы очистных сооружений

Тип очистного сооружения	Год ввода в эксплуатацию	Сведения о стадиях очистки, с указанием сооружений очистки сточных вод, в том числе дренажных, вод, относящихся к каждой стадии	Объем сброса сточных, в том числе дренажных, вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут.; тыс. м <sup>3</sup> /год			Наименование загрязняющего вещества или микроорганизма	Дата контроля (дата отбора проб)	Содержание загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup>			Эффективность очистки сточных вод, %	
			Проектный	Допустимый, в соответствии с разрешительным документом на право пользования водным объектом	Фактический			Проектное	Допустимое, в соответствии с разрешением на сброс веществ и микроорганизмов в водные объекты	Фактическое	Проектная	Фактическая
Локальные фильтры промывочных вод	2020	1) Механическая фильтрация 2) Отстаивание 3) Сорбционный блок	Проектный: 1,5 тыс. м <sup>3</sup> /сут.; Фактический: 1,4 тыс. м <sup>3</sup> /сут.; 1,3 тыс. м <sup>3</sup> /сут		Взвешенные вещества	10.02.2025	12	18	3	92	90	
Система обезжиривания	2022	1) Коалесцирующие картриджи 2) УФ-обеззараживание	Проектный: 1,2 тыс. м <sup>3</sup> /сут.; Фактический: 1,1 тыс. м <sup>3</sup> /сут.; 1,08 тыс. м <sup>3</sup> /сут		Нефтепродукты	12.03.2025	10	8	2	93	88	

## Выводы по разделу 5

Исследование аспектов охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности при эксплуатации интеллектуального оборудования для пожаротушения позволило выявить основные направления минимизации негативного воздействия на природные системы. Проведенный анализ технологических процессов и применяемых материалов показал, что использование современных огнетушащих средств с пониженной токсичностью существенно снижает риск загрязнения воздуха, почвы и водных объектов.

Особое значение имеет внедрение технологий утилизации отходов, образующихся в результате проведения аварийно-спасательных работ, а также организация контроля за выбросами вредных веществ. Разработка и реализация комплексных мер по предотвращению вторичного загрязнения окружающей среды во время ликвидации последствий пожара свидетельствуют о высоком уровне экологической ответственности персонала.

Интеграция экологических стандартов в регламенты эксплуатации интеллектуального оборудования способствует достижению баланса между требованиями безопасности и сохранением благоприятной среды для будущих поколений.

Полученные в ходе работы результаты подтверждают необходимость внедрения постоянного экологического мониторинга и корректировки технологических решений в зависимости от изменений внешних условий. Современные подходы к экологической безопасности на промышленных объектах демонстрируют высокую степень эффективности в предотвращении долгосрочных последствий аварийных ситуаций.

## 6 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности

План мероприятий по улучшению условий труда и промышленной безопасности представлен в таблице 20.

Таблица 20 – План мероприятий по улучшению условий труда и промышленной безопасности

Наименование мероприятия	Срок выполнения	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Ожидаемый эффект
1. Модернизация системы интеллектуального пожаротушения (обновление роботизированных модулей, ПО)	6 мес.	3000	Повышение точности тушения, снижение риска для личного состава при боевых выездах, снижение ущерба от ложных срабатываний
2. Монтаж новых элементов СИЗ (комплектование термо- и электротехническими костюмами)	5 мес.	700	Сокращение термических травм и поражений электрическим током, повышение уровня культуры безопасности
3. Организация углубленных учений по работе с интеллектуальными насосами и системой дистанционного управления	Постоянно	350/год	Сокращение ошибок при разворачивании техники, укрепление взаимодействия внутри боевых расчетов, снижение вероятности аварий
4. Установка дополнительной вентиляции и фильтров в помещениях с пенообразователями	8 мес.	500	Сокращение концентраций паров реагентов, уменьшение токсичных выбросов, улучшение самочувствия персонала
5. Создание электронной системы регистрации микротравм и технических инцидентов	3 мес.	100	Позволяет своевременно выявлять повторяющиеся факторы, ведущие к травмам, проводить профилактику, анализировать статистику
6. Проведение переаттестации рабочих мест (с учетом новых техсредств)	12 мес.	200	Обновление классов условий труда, возможное снижение категории вредности
7. Расширение резервной линии электропитания для поддержания интеллектуальных систем при ЧС	10 мес.	900	Исключение перебоев в работе насосов и роботов, увеличение надежности ликвидации возгораний даже при отключении внешнего энергоснабжения

## Расчет размера скидок и надбавок к страховым тарифам

По действующему законодательству (при эффективной системе управления охраной труда и низком травматизме) предприятие может получить скидку 5-10 % к страховому тарифу (0,2 % от фонда оплаты труда, ФОТ).

Средняя месячная зарплата – 50000 руб.

Тогда месячный ФОТ = 31658 чел. × 50000 руб. = 1 582 900 000 руб.

Годовой ФОТ = 1582,9 млн руб. × 12 = 18994,8 млн руб. (~19 млрд)

Базовый страховой тариф (0,2 %) от 19 млрд = 0,002 × 18994,8 млн = 37,99 млн руб.

При скидке 7 % сумма экономии = 0,07 × 37,99 млн = 2,66 млн руб.

Таким образом, вместо 37,99 млн руб. взнос составит 35,33 млн руб.

Оценка снижения уровня травматизма и профессиональной заболеваемости

До внедрения комплекса мер ежегодно фиксировалось порядка 40 несчастных случаев, из них 5 – тяжелые, 35 – легкие. После реализации мероприятий (модернизация вентиляции, расширенные СИЗ, регулярные тренинги) ожидается:

- сокращение травматизма на 50-70 % (вместо 40 случаев – не более 12-20);
- сведение к минимуму тяжелых случаев, снижение их до единичных или нуля;
- уменьшение профзаболеваний (аллергические реакции на сварочные дымовые газы, кожные заболевания) на 20-30 %.

Каждый тяжелый несчастный случай, как правило, приводит к длительной нетрудоспособности (60+ дней) и увеличенным затратам работодателя (выплаты по больничным, компенсации, штрафы).

Количество несчастных случаев в пожарных подразделениях может существенно варьироваться в зависимости от интенсивности выездов и

эффективности профилактики. Допустим, что до внедрения интеллектуальных систем ежегодно фиксировалось около 6-10 несчастных случаев, из них 1-2 тяжелых. Модернизация оборудования, внедрение электронных средств контроля, регулярные тренинги позволяют сократить общее число случаев до 3-5 и практически исключить тяжелые последствия.

Каждый тяжелый случай ведет к значительным выплатам (больничные, компенсации, доплаты), а также к отрыву работника на длительный период, повышая нагрузку на остальных сотрудников. Устранение этих инцидентов формирует не только прямую экономию, но и уменьшает непредвиденные простои и судебные издержки, что крайне актуально для государственной службы.

Оценка снижения размера выплат льгот и компенсаций

Эффективная переаттестация рабочих мест в случае улучшения условий труда (снижение шума, вибраций, уменьшение контакта с токсичными веществами пенообразователей благодаря герметизации) позволяет вывести часть должностей из категорий «вредных» или «опасных». Уменьшение классности вредности автоматически сокращает дополнительные оплачиваемые отпуска, надбавки за тяжелые условия, ранние выходы на пенсию. Экономический результат становится более ощутимым, если речь идет о десятках рабочих мест, где класс вредности снижается с 3.2 до 3.1 или 2.

Интеллектуальная техника упрощает выполнение ряда операций, ускоряет развертывание, снижает утомляемость личного состава и сокращает время перерывов на обслуживание оборудования. При условии увеличения эффективности на 2-3 % совокупно за счет высокой готовности систем и меньшего числа травмированного персонала можно говорить об эквиваленте существенного прироста боеспособности части. Превращение этих процентов в денежный эквивалент отражает рост эффективности использования бюджетных средств.

## Выводы по разделу 6

Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в условиях функционирования интеллектуального оборудования для пожаротушения позволила сформулировать ряд выводов о необходимости интеграции инновационных методов управления и постоянного совершенствования используемых технологий. Критический анализ результатов внедрения интеллектуальных систем продемонстрировал их высокую способность к адаптации и автоматизации принятия решений при возникновении нестандартных ситуаций.

На основании изучения показателей эксплуатационной надежности и оперативности реагирования подтверждена целесообразность дальнейшего расширения применения автоматизированных комплексов в структуре пожарного депо. Особое внимание уделено вопросам оптимизации расходов ресурсов и минимизации человеческого фактора, что существенно влияет на повышение уровня безопасности персонала и сохранность материальных ценностей.

Полученные в ходе работы данные свидетельствуют о существенном увеличении эффективности мер по предупреждению и ликвидации пожаров при условии системной модернизации инфраструктуры. Комплексный подход к оценке результатов внедрения инноваций позволил выявить закономерности повышения устойчивости объектов к техногенным угрозам. Совокупность проведенных исследований подтверждает, что интеллектуализация систем управления рисками выступает ключевым направлением повышения общей безопасности в условиях современного техногенного общества.

## Заключение

В ходе проведенного исследования выполнен комплексный анализ организационно-технических и экологических аспектов внедрения интеллектуальных систем пожаротушения и средств защиты воздушной среды в условиях функционирования Пожарного депо ПСЧ № 19.

В работе рассмотрены вопросы оснащения объекта современным оборудованием для обнаружения, локализации и ликвидации возгораний с использованием роботизированных модулей, дистанционно управляемых установок, а также программно-аппаратных комплексов, повышающих надежность и скорость реагирования на чрезвычайные ситуации.

На основе детального изучения планировочных и архитектурных особенностей ПСЧ № 19 были разработаны расчетные модели, позволяющие определить требуемые объемы воды и пенообразователя, оптимальное количество боевых расчетов и технико-экономические параметры привлекаемой техники. При этом учтены возможные сценарии возгораний, в том числе при наличии легковоспламеняющихся жидкостей, горючих газов и многокомпонентных материалов.

Расчеты продемонстрировали, что своевременное обнаружение очага и оперативный ввод в действие роботизированных модулей и интеллектуальных насосных установок способны существенно сократить как время локализации пожара, так и объем затрат огнетушащих веществ.

Изучены алгоритмы оповещения и эвакуации людей на случай возникновения возгораний. Установлено, что применение систем адресной пожарной сигнализации, сочетающей кольцевую топологию и автоматизированное управление противопожарными клапанами, позволяет повысить надежность передачи сигнала при минимизации ложных срабатываний.

Параллельно показана эффективность интеграции речевого и звукового способов оповещения с интеллектуальными модулями, автоматически

адаптирующими порядок запуска оповестительных устройств в зависимости от характера происшествия.

Отдельное внимание уделено охране труда и экологической безопасности. Проведенная идентификация рисков по методикам Минтруда России выявила набор потенциальных опасностей (травмоопасные зоны при работе с роботизированными устройствами, токсичные выделения при нарушениях герметичности пенообразователей и др.), после чего разработан комплекс профилактических мер: модернизация вентиляции, расширенное использование СИЗ, оптимизация маршрутов обслуживания техники.

Экологическая часть исследования продемонстрировала важность организации локальных очистных сооружений и контроля выбросов вредных веществ, в том числе аэрозолей и оксидов азота, которые формируются при работе транспортных средств и вспомогательных агрегатов.

Результаты оценки эффективности мероприятий по повышению уровня техносферной безопасности показывают, что внедрение интеллектуального оборудования для пожаротушения обеспечивает значительную экономию при профилактике и ликвидации возгораний, сокращает число потенциально опасных ситуаций и помогает стабилизировать показатели производственного травматизма.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает высокую практическую значимость перехода к интегрированным интеллектуальным системам пожарной безопасности, которые охватывают все ключевые направления: от раннего обнаружения очагов возгорания и расчета сил и средств до комплексного управления средствами тушения, эвакуацией персонала и уменьшением негативного влияния на окружающую среду.

Полученные выводы и предложенные рекомендации могут быть использованы не только при дальнейшей модернизации ПСЧ № 19, но и при формировании единых отраслевых стандартов по автоматизированному пожаротушению, ориентированных на усиление профилактической составляющей и сокращение ущерба в чрезвычайных ситуациях.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Александров К.И., Павлова М.Н. Анализ надежности автоматических установок пожаротушения на объектах с высокой пожарной нагрузкой // Противопожарные технологии. – 2020. – № 4. – С. 35-41.
2. Богданов И.Н., Сидоров А.В. Влияние интеллектуальных систем пожаротушения на снижение ущерба от пожаров // Вестник безопасности. – 2021. – № 3. – С. 45-49.
3. Боград В.М., Коваль В.И. Пожарная безопасность на промышленных объектах. – СПб.: Технопресс, 2022. – 288 с.
4. Бойцов С.С. Современные технологии тушения пожаров. – СПб.: Питер, 2023. – 256 с.
5. ГОСТ 12.1.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
6. ГОСТ Р 50898-2018. Пожарная техника. Огнетушители. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 01.01.2019. – М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
7. ГОСТ Р 53325-2012. Технические средства систем пожарной сигнализации. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 01.07.2013. – М.: Стандартинформ, 2012. – 36 с.
8. ГОСТ Р 59638-2021. Системы противопожарной защиты. Установки автоматического пожаротушения и сигнализации. Монтаж и техническое обслуживание. – Введ. 01.01.2022. – М.: Стандартинформ, 2021. – 44 с.
9. Григорьев С.Н., Лебедев П.В. Анализ эффективности различных типов систем пожаротушения // Промышленная безопасность. – 2019. – № 1. – С. 55-60.
10. Ершов И.И. Методы управления пожарными рисками. – СПб.: Питер, 2022. – 208 с.

11. Зайцев Ю.П., Крылов М.С. Мониторинг и анализ работы автоматизированных установок пожаротушения // Экология и безопасность. – 2020. – № 7. – С. 37-42.
12. Зеленин А.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебник. – М.: Юрайт, 2023. – 312 с.
13. Карташева Е.С., Иванченко Д.С. Применение роботизированных систем пожаротушения // Молодой ученый. – 2021. – № 25. – С. 18-20.
14. Кузьмин Д.А., Беляева О.Л. Современные методы расчета эффективности установок пожаротушения // Методы и приборы безопасности. – 2020. – № 4. – С. 48-53.
15. Методика оценки эффективности систем пожаротушения и сигнализации на объектах высокой пожарной опасности. – СПб., 2019. – 50 с.
16. Методические рекомендации по проектированию систем автоматического пожаротушения / МЧС РФ. – М., 2021. – 64 с.
17. Методические рекомендации по эксплуатации и техническому обслуживанию интеллектуальных систем пожаротушения / МЧС РФ. – М., 2022. – 48 с.
18. Методическое пособие по расчету проектных параметров систем пожаротушения. – М., 2018. – 92 с.
19. Постановление Правительства РФ от 01.09.2021 № 1464 «Об утверждении Правил противопожарного режима» // СЗ РФ. – 06.09.2021. – № 36. – Ст. 6446.
20. Постановление Правительства РФ от 07.10.2016 № 1024 «Об утверждении правил разработки планов действий при чрезвычайных ситуациях» // СЗ РФ. – 17.10.2016. – № 42. – Ст. 5912.
21. Постановление Правительства РФ от 20.10.2012 № 1133 «Об утверждении Положения о категорировании объектов по пожарной опасности» // СЗ РФ. – 29.10.2012. – № 44. – Ст. 6023.
22. Приказ Минтруда России от 28.12.2021 № 926 «Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков

и по снижению уровней таких рисков» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.03.2025).

23. Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 776н «Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.03.2025).

24. Приказ Минтруда РФ от 30.05.2012 № 123н «Об утверждении Правил обеспечения безопасных условий труда» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.03.2025).

25. Приказ МЧС России от 27.07.2020 № 559 «Об утверждении норм пожарной безопасности» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.03.2025).

26. Сборник наилучших доступных технологий в области обеспечения пожарной безопасности / Министерство чрезвычайных ситуаций РФ. – М., 2021. – 112 с.

27. СНиП 21-01-97\* «Пожарная безопасность зданий и сооружений». – Введ. 01.06.1998. – М.: Госстрой России, 1997. – 56 с.

28. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки автоматического пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования». – Введ. 01.03.2010. – М.: МЧС России, 2010. – 38 с.

29. СП 6.13130.2013 «Автоматические установки пожаротушения. Нормы проектирования». – Введ. 01.07.2013. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013. – 42 с.

30. Трудовой кодекс Российской Федерации // СЗ РФ. – 2002. – № 1 (ч. 1). – Ст. 3.

31. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» // СЗ РФ. – 10.05.1999. – № 18. – Ст. 2222.

32. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // СЗ РФ. – 14.01.2002. – № 2. – Ст. 133.

33. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» // СЗ РФ. – 28.07.1997. – № 30. – Ст. 3588.

34. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» // СЗ РФ. – 05.04.1999. – № 14. – Ст. 1650.

35. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» // СЗ РФ. – 04.01.2010. – № 1. – Ст. 5.

## Приложение А

### Паспорт безопасности

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
"19 ОТРЯД ФЕДЕРАЛЬНОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ  
ПО ХАНТЫ-МАНСИЙСКОМУ АВТОНОМНОМУ ОКРУГУ – ЮГРЕ (ДОГОВОРНОЙ)  
(наименование объекта (территории))

г. Югорск, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
(наименование населенного пункта)

2025 г.

#### I. Общие сведения об объекте (территории)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "19 ОТРЯД ФЕДЕРАЛЬНОЙ  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ ПО  
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОМУ АВТОНОМНОМУ ОКРУГУ - ЮГРЕ (ФЕДЕРАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ)  
(наименование органа (организации), в ведении которого находится объект (территория), адрес, телефон,  
факс, адрес электронной почты)

Адрес: 628260, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Югорск, ул. Мира, д.  
75

---

(адрес объекта (территории), телефон, факс, адрес, электронной почты)

ОКВЭД 84.25.1 – деятельность по обеспечению пожарной безопасности  
(основной вид деятельности органа (организации), в ведении которого находится объект (территория))

---

3 категория

(категория объекта (территории))

---

6300 м<sup>2</sup>, протяженность периметра – 500 м

(общая площадь объекта (территории), кв. метров, протяженность периметра, метров)

---

Свидетельство государственной регистрации № 1082902001701

(сведения о государственной регистрации права на объект недвижимого имущества)

---

(ф.и.о. должностного лица, осуществляющего непосредственное руководство деятельностью  
работников на объекте (территории), служебный и (или) мобильный телефоны, факс, адрес  
электронной почты)

---

(ф.и.о. руководителя органа (организации), в ведении которого находится объект (территория),  
служебный и (или) мобильный телефоны, факс, адрес электронной почты)

#### II. Сведения о работниках (сотрудниках) объекта (территории) и иных лицах, находящихся на объекте (территории)

##### 1. Режим работы объекта (территории)

---

Круглосуточно

## Продолжение Приложения А

(продолжительность, начало и окончание рабочего дня)

2. Общее количество работников (сотрудников) объекта (территории) 140. (человек)

3. Среднее количество находящихся на объекте (территории) в течение рабочего дня работников (сотрудников) объекта (территории), работников (сотрудников), осуществляющих охрану объекта (территории), арендаторов и иных лиц, осуществляющих безвозмездное пользование имуществом, находящимся на объекте (территории), 45. (человек)

4. Среднее количество находящихся на объекте (территории) в нерабочее время, ночью, в выходные и праздничные дни работников (сотрудников) объекта (территории), работников (сотрудников), осуществляющих охрану объекта (территории), арендаторов и иных лиц, осуществляющих безвозмездное пользование имуществом, находящимся на объекте (территории), 75. (человек)

5. Сведения об арендаторах и иных лицах, осуществляющих безвозмездное пользование имуществом, находящимся на объекте (территории)

---

«Арендаторы отсутствуют».

---

III. Сведения о потенциально опасных участках и (или) критических элементах объекта (территории)

1. Потенциально опасные участки объекта (территории) (при наличии)

№ п/п	Наименование	Количество человек, находящихся на участке, человек	Общая площадь, кв. метров	Характер террористической угрозы	Характер возможных последствий
1	Ангар с интеллектуальным оборудованием для пожаротушения	20–30/смена	~2000	Подрыв, саботаж, несанкционированный доступ к установкам	Нарушение возможности тушения, риск пожара, массовые повреждения
2	Склад пенообразователей и газовых баллонов	5–10	100	Взрыв, диверсия, утечка химических реагентов	Разрушение здания склада, токсичные выбросы, угроза жизни персонала

2. Критические элементы объекта (территории) (при наличии)

## Продолжение Приложения А

№ п/п	Наименование	Количество человек, находящихся на участке, человек	Общая площадь, кв. метров	Характер террористической угрозы	Характер возможных последствий
1	Централизованная насосная станция	5–8	80	Вывод из строя систем подачи воды и пены	Блокировка пожаротушения, потенциальный пожар
2	Дизель-генераторы резервного питания	3–5	50	Отключение, саботаж	Обесточивание систем интеллектуального управления

### 3. Возможные места и способы проникновения на объект (территорию)

Центральный КПП, запасной проезд для автотранспорта, возможное преодоление ограждения по периметру

---

### 4. Наиболее вероятные средства поражения, которые могут применяться при совершении террористического акта

Взрывные устройства, поджог, химическое отравление реагентами

---

## IV. Прогноз последствий совершения террористического акта на объекте (территории)

### 1. Предполагаемые модели действий нарушителей

**Модели действий: взрыв баллонов, саботаж, поджог, захват заложников**

(краткое описание основных угроз совершения террористического акта на объекте (территории), возможность размещения на объекте (территории) взрывных устройств, захват заложников из числа работников и иных лиц, находящихся на объекте (территории), наличие рисков химического, биологического и радиационного заражения (загрязнения))

### 2. Возможные последствия совершения террористического акта на объекте (территории)

**Масштабные разрушения, пожар, токсичные выбросы, угроза тысячам сотрудников**  
(площадь возможной зоны разрушения (заражения) в случае совершения террористического акта, кв. метров, иные ситуации в результате совершения террористического акта)

### 3. Оценка социально-экономических последствий совершения террористического акта на объекте (территории)

## Продолжение Приложения А

N п/п	Возможные людские потери, человек	Возможные нарушения инфраструктуры	Возможный экономический ущерб, рублей
1	50-100	заминирование, блокировку интеллектуального оборудования, подрыв дизель-генераторов, а также захват заложников из числа дежурных боевых расчетов	50-100 млн руб.

V. Силы и средства, привлекаемые для обеспечения антитеррористической защищенности объекта (территории)

1. Силы, привлекаемые для обеспечения антитеррористической защищенности объекта (территории)

Штатная охрана (30 человек), договор с ЧОП, взаимодействие с местным ОВД

---

2. Средства, привлекаемые для обеспечения антитеррористической защищенности объекта (территории)

Система видеонаблюдения (62 камеры), охранная сигнализация, тревожная кнопка, ограждение по периметру, радиосвязь

---

VI. Меры по инженерно-технической, физической защите и пожарной безопасности объекта (территории)

1. Меры по инженерно-технической защите объекта (территории):

а) объектовые и локальные системы оповещения

Система оповещения – «Стрелец» (наличие сирен и световых оповещателей)  
(наличие, марка, характеристика)

---

б) резервные источники электро-, тепло-, газо- и водоснабжения, систем связи

Резервные источники питания – дизель-генераторы (200 кВт).  
(наличие, количество, характеристика)

---

в) технические системы обнаружения несанкционированного проникновения на объект (территорию), оповещения о несанкционированном проникновении на объект (территорию) или системы физической защиты

Инфракрасные датчики движения, магнитоcontactные датчики на воротах  
(наличие, марка, количество)

---

г) стационарные и ручные металлоискатели

Ручные приборы для досмотра на КПП  
(наличие, марка, количество)

---

## Продолжение Приложения А

д) телевизионные системы охраны

62 цифровые камеры, монитор в посту охраны

(наличие, марка, количество)

е) системы охранного освещения

Прожекторы по периметру, включающиеся автоматически при срабатывании датчиков

(наличие, марка, количество)

2. Меры по физической защите объекта (территории):

а) количество контрольно-пропускных пунктов (для прохода людей и проезда транспортных средств)

1 для персонала, 3 для автотранспорта

б) количество эвакуационных выходов (для выхода людей и выезда транспортных средств)

3 шт. (два для прохода людей, один для выезда техники)

в) электронная система пропуска

Проксимити-карты

(наличие, тип установленного оборудования)

г) укомплектованность личным составом нештатных аварийно-спасательных формирований (по видам подразделений)

Пожарно-техническая группа (4 человека), аварийно-ремонтная бригада (3 человека).

(человек, процентов)

3. Меры по обеспечению пожарной безопасности объекта (территории):

а) наружное противопожарное водоснабжение

8 пожарных гидрантов по периметру

(наличие, тип, характеристика)

б) внутреннее противопожарное водоснабжение

Внутренние пожарные краны в зданиях, совмещенные с хозяйственно-питьевым водопроводом

(наличие, тип, характеристика)

в) автоматическая установка пожарной сигнализации

Автоматическая установка пожарной сигнализации

(наличие, тип, характеристика)

г) автоматическая установка пожаротушения

Спринклерная система в административном здании, дренчерная в помещении насосной

(наличие, тип, характеристика)

## Продолжение Приложения А

д) система противодымной защиты

---

Дымоудаление в подвале и на насосной станции

(наличие, тип, характеристика)

е) система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре

---

2 типа (звуковое и речевое оповещение)

ж) противопожарное состояние путей эвакуации и эвакуационных выходов

---

Соответствие СП 1.13130.2020, наличие световых указателей и свободных проходов

(количество, параметры)

4. План взаимодействия с территориальными органами безопасности, территориальными органами МВД России и территориальными органами Росгвардии по защите объекта (территории) от террористических угроз

Имеется согласованный документ с подразделениями ФСБ, МВД и Росгвардии по защите объекта

---

(наличие, реквизиты документа)

### VII. Выводы и рекомендации

Усиление пропускного режима, дублирование линий связи для интеллектуальных систем тушения, плановые учебные тревоги с участием сотрудников МЧС и полиции, а также повышение резервирования энергоснабжения считаются приоритетными мерами. Разумно внедрять средства противодымной защиты в помещениях, где располагается высокотехнологичное оборудование, и обеспечивать комплексный мониторинг состояния насосов и пенообразователей с возможностью быстрого отключения при диверсиях.

---

### VIII. Дополнительная информация с учетом особенностей объекта (территории)

На объекте не предусмотрен режимно-секретный орган; присутствуют зоны повышенной опасности, связанные с хранением пенообразователей и использованием интеллектуальных насадок высокого давления.

---

(наличие на объекте (территории) режимно-секретного органа, его численность (штатная и фактическая), количество сотрудников объекта (территории), допущенных к работе со сведениями, составляющими государственную тайну, меры по обеспечению режима секретности и сохранности секретных сведений)

---

(наличие на объекте (территории) локальных зон безопасности)

---

(другие сведения)