

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)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Комплексные системы безопасности и жизнеобеспечения,
включающие в себя системы пожарной безопасности»

Обучающийся

П.С. Трошин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к. т. н. И.И. Рашоян

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

Консультант

к. э. н., доцент Т.Ю. Фрезе

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

Тольятти 2022

Содержание

Введение	3
1 Обеспечение безопасности в торгово-развлекательных центрах города Хабаровска	6
1.1 Анализ комплексных систем безопасности торгово-развлекательных центров города Хабаровска	6
1.2 Обеспечение пожарной безопасности ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»	10
1.3 Анализ происшествий, произошедших за последние пять лет в торгово-развлекательных центрах РФ	22
1.4 Оценка возможности проведения спасательных работ и тушения пожара подразделениями местного ПСГ г. Хабаровска	26
2 Определение возможности расширения функционала систем пожарной безопасности ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»	53
2.1 Алгоритм распознавания лиц	53
2.2 Анализ существующих систем распознавания лиц и выбор наиболее подходящей	54
2.3 Подбор тепловизионных камер	59
2.4 Реализация системы распознавания лиц в ТРЦ «БРОСО МОЛЛ»	65
3 Внедрение системы распознавания лиц в КСБ и ПБ	72
3.1 Методика и параметры проведения эксперимента по определению влияния системы распознавания лиц на проведение спасательных работ ..	72
3.2 Анализ полученных результатов эксперимента и влияние предлагаемых решений на проведение АСР и тушение пожара	75
3.3 Анализ и оценка эффективности предлагаемых решений при их внедрении в системы ПБ КСБ	79
Заключение	90
Список используемой литературы и используемых источников	95
Приложение А Проведение спасательных работ	101
Приложение Б Проведение практического эксперимента	102

Введение

Актуальность и научная значимость исследования заключается в том, что пожары, происходящие на объектах с массовым пребыванием людей, к которым относятся торгово-развлекательные центры (ТРЦ), влекут за собой человеческие жертвы, а также огромный материальный ущерб даже при наличии современных систем пожарной безопасности, входящих в системы комплексной безопасности.

Объект исследования: комплексные системы безопасности ТРЦ и местный пожарно-спасательный гарнизон города Хабаровска.

Предмет исследования: системы пожарной безопасности ТРЦ и их влияние на проведение аварийно-спасательных работ.

Цель исследования: расширить возможности систем пожарной безопасности ТРЦ путем сопряжения их с системой видеонаблюдения.

Гипотеза исследования состоит в том, что наличие системы распознавания лиц и применение тепловизионного оборудования:

- позволит наблюдать, управлять и регулировать процесс эвакуации в масштабе всего ТРЦ, а также иметь четкое представление о количестве эвакуировавшихся;
- дополнит систему обнаружения пожара функцией определения его конкретного места возникновения в помещении и принятия решения о возможности его ликвидации имеющимися средствами;
- сократит время поиска пострадавших в задымленном помещении;
- позволит уменьшить количество привлекаемого личного состава для выполнения аварийно-спасательных работ и тушения пожара.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать ТРЦ города Хабаровска;
- провести анализ пожарной безопасности ТРЦ;

- подобрать и рассмотреть возможность внедрения систем распознавания лиц и тепловизионного наблюдения;
- провести практический эксперимент по поиску пострадавших в случае возникновения пожара;
- выполнить расчет требуемого личного состава и оборудования для проведения аварийно-спасательных работ.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: научные публикации, учебники, учебные пособия по теме исследования.

Базовыми для настоящего исследования явились также нормативно-правовые акты Российской Федерации.

Методы исследования: анализ, эксперимент.

Опытно-экспериментальная база исследования: ТРЦ города Хабаровска, местный пожарно-спасательный гарнизон города Хабаровска.

Научная новизна исследования заключается в:

- обосновании сопряжения системы видеонаблюдения с системой пожарной безопасности;
- разработка метода оценки возникновения заторов на путях эвакуации.

Теоретическая значимость исследования:

- проанализированы системы пожарной безопасности крупнейшего ТРЦ города Хабаровска;
- предложено расширение функционала систем пожарной безопасности путем сопряжения их с системой видеонаблюдения;
- результаты работы позволяют проводить оценку достаточности подразделений при выполнении пожарно-тактических расчетов.

Практическая значимость исследования заключается в том, что возможно значительно увеличить эффективность обслуживающего персонала при проведении эвакуации, пожарно-спасательных подразделений при проведении аварийно-спасательных работ и тушении пожара.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- использованием официальных статистических данных;
- проведением анализа пожарной безопасности с применением актуальных законодательных и нормативных документов.

Личное участие автора в организации и проведения исследования состоит в подборе необходимого оборудования, анализе, расчетах, разработке и проведении практического эксперимента.

Апробация и внедрение научных результатов велись в течении всего исследования. Исследуемая проблематика, основные результаты и выводы изложены в научной статье «Анализ возможности тушения пожаров и спасения людей местным пожарно-спасательным гарнизоном в торгово-развлекательных центрах города Хабаровска» подготовленной к XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021 г.

На защиту выносятся:

- обоснование совместного применения системы видеонаблюдения с системами пожарной безопасности;
- обоснование необходимости применения предлагаемых технических решений для уменьшения времени проведения аварийно-спасательных работ и создание условий для успешного тушения пожара в кратчайшие сроки.

Структура и объем магистерской диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и списка используемой литературы и используемых источников (50 источников). Работа содержит 102 страницы текста, в том числе 16 таблиц, 30 рисунков и 2 приложения.

1 Обеспечение безопасности в торгово-развлекательных центрах города Хабаровска

1.1 Анализ комплексных систем безопасности торгово-развлекательных центров города Хабаровска

На сегодняшний день в городе Хабаровске функционируют семь ТРЦ. Все они построены по индивидуальным проектам и оборудованы интегрированными комплексными системами безопасности.

Определение комплексных систем безопасности приводится в ГОСТ Р 53704-2009 которое гласит «Комплексные системы безопасности (КСБ) объектов различного назначения и различной значимости - это автоматизированные иерархические сложные (относительно выполняемых целевых задач и обеспечиваемой функциональной надежности) системы. Назначением которых, в общем случае, является обеспечение комплексной защиты объектов от техногенных аварий, пожаров, криминальных проявлений, нештатных (сверхнормативных) природно-климатических воздействий, последствий стихийных бедствий, ошибочных (случайных или преднамеренных) действий людей» [32].

«Интегрированные КСБ выполняют те же функции, что и КСБ, только являются сложными программируемыми изделиями и находятся под общим управлением. Являются модульными, и имеют возможность расширения. Основными плюсами является уменьшение времени обработки получаемой тревожной информации, как следствие более быстрое принятие решений» [14], [29].

Состав интегрированных КСБ одинаков на всех ТРЦ, различиями является используемое оборудование для их организации, а также его количество. В качестве управляющей системы везде использовано оборудование компании ЗАО НВП «Болид». Технические подсистемы, входящие в состав КСБ представлены на рисунке 1.

В качестве объекта дальнейшего исследования выберем наиболее загруженный с точки зрения посещения ТРЦ. Расчетное количество одновременно находящихся в зданиях людей приведено в таблице 1. Источниками информации для формирования таблицы 1 послужили планы тушения пожара [16]-[22].

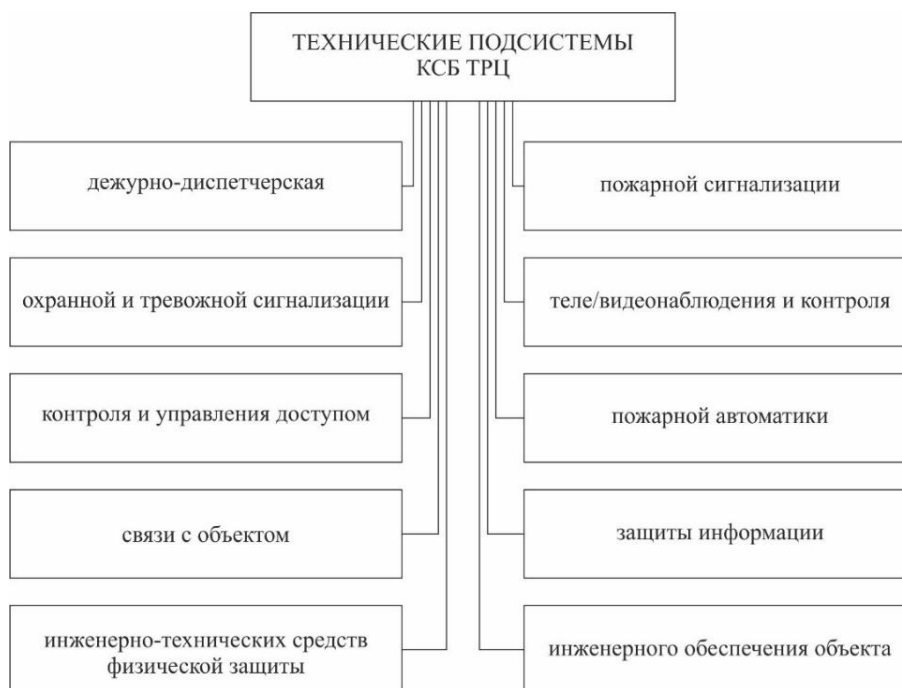


Рисунок 1 – Технические подсистемы КСБ ТРЦ

Таблица 1 – Расчетное количество людей, одновременно находящихся в ТРЦ

Наименование объекта	Количество людей
ТРЦ «Большая медведица»	1162
ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»	6914
ТРЦ «Горизонт»	1150
ТРЦ «Магазины радости»	1345
ТРЦ «НК-Сити»	900
ТРЦ «Стрелка»	1072
ТРЦ «Южный парк»	1370

Из таблицы 1 видно, что ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» наиболее крупный ТРЦ города, его и выбираем в качестве объекта исследования.

Здание ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» четырехэтажное с двухэтажной встройкой под административные, складские и производственные помещения (цеха приготовления пищи гипермаркета), закрытой автостоянкой на 447 машино-мест.

Высота здания переменная, максимальная от проезда до верха парапета составляет 37,60 м. Вид здания с северной стороны представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» вид с северной стороны

Подъезд пожарных автомобилей к зданию с северо-западной стороны с пер. Гражданский и с северо-восточной стороны с ул. Пионерская. Расстояние от внутреннего края проезда до стен здания от пяти до восьми метров, ширина проездов не менее четырех метров с частичным использованием пешеходных тротуаров и площадок.

В полосе между зданиями и проездами отсутствуют ограждения и рядовые посадки деревьев.

Наружное пожаротушение обеспечивается из 14 пожарных гидрантов на кольцевых сетях водопровода. Каждая часть здания находится в радиусе

действия не менее чем двух пожарных гидрантов, в соответствии с СП 8.13130.2020 [34].

Здание относится ко второй степени огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности С0, в соответствии с 123-ФЗ [43]. Разделено на два противопожарных отсека с учетом функционального назначения:

- пожарный отсек № 1 - надземная автостоянка с техническими помещениями (включая помещение насосной пожаротушения) и вспомогательными (подсобными) помещениями (в том числе не относящимися к автостоянке) с площадью этажа в пределах пожарного отсека не более 25000 м²;
- пожарный отсек № 2 - торговые залы и другие помещения общественного назначения (включая кинотеатр) с площадью этажа в пределах пожарного отсека не более 100000 м².

Кровля здания разноуровневая и имеет разное конструктивное исполнение:

- над зоной кинотеатров – металлическое;
- в остальных местах – железобетонное.

В соответствии с пунктом 5.4.5 СП 2.13130.2020 [35], для обеспечения огнезащиты металлических конструкций покрытия над зоной кинотеатра применены средства конструктивной защиты.

В здании располагается четыре группы лифтов. В каждой группе расположено по два лифта с функцией «транспортировки пожарных подразделений» (габариты кабины ширина – 1,5 м, глубина – 2,7 м, скорость 1,6 м/с) данные лифты помимо функции вертикального доступа пожарных подразделений на этажи здания предназначены для спасения маломобильных групп населения из зон безопасности расположенных в помещениях лифтовых холлов или смежно с ними. Двери лифтов выполнены с пределом огнестойкости не менее EI 60, согласно требованиям, ГОСТ Р 53296-2009 [44].

В здании предусмотрено 13 незадымляемых лестничных клеток, девять лестничных клеток имеют выход на кровлю. Все лестничные клетки имеют выход непосредственно наружу через тамбуры. Лестничные клетки, предназначенные для эвакуации из административных помещений обособлены от лестничных клеток торгового центра и ведут непосредственно наружу. Лестничная клетка, расположенная с западной стороны здания, имеет связь с автостоянкой.

Все пути эвакуации удовлетворяют требованиям статьи 89 №123-ФЗ [43].

Ширина марша лестничных клеток и лестниц не менее 1,6 м, промежуток между маршами лестничных клеток не менее 75 мм.

Лестничные клетки выполнены из железобетонных маршей и площадок с пределом огнестойкости не менее R 60. Высота ступеней лестниц составляет 150 мм ширина проступи 300 мм, что соответствует уклону один к двум и удовлетворяет требованиям пункта 7.1.4 СП 1.13130.2020 [39] и пункта 6.11* СП 118.13330.2012 [12]. Ширина площадок составляет не менее 1,6 м. Высота ограждений лестничных клеток составляет 1,2 м, согласно требованиям, пункта 4.3.5 СП 1.13130.2020 [39].

Двери незадымляемых лестничных клеток противопожарные, второго типа, с пределом огнестойкости 30 мин, что соответствует пункту 5.4.16 СП 2.13130.2020 [35] и таблице 24 № 123-ФЗ [43].

1.2 Обеспечение пожарной безопасности ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»

Пожарная безопасность обеспечивается следующими системами:

- внутренний противопожарный водопровод;
- автоматические установки водяного пожаротушения;
- автоматическая установка газового пожаротушения;
- автоматическая установка пожарной сигнализации;
- оповещения и управления эвакуацией;

- противодымная вентиляция, дымоудаления и подпора.

Рассмотрим каждую систему на предмет их соответствия нормативной документации.

1.2.1 Система внутреннего противопожарного водопровода

Система в здании выполнена для помещений автостоянки воздухозаполненной, для помещений торгового центра водозаполненной. Заполнение водой происходит по сигналу от сработавшего оросителя или при нажатии кнопки расположенной в каждом шкафу пожарного крана.

Согласно пункту 7.6 СП 10.13130.2020 [33] расчетные расходы (с учетом высоты компактной части струи) составляют:

- пожарный отсек №1 – две струи по 5,2 л/с;
- пожарный отсек №2 – три струи по 3,7 л/с (высота компактной части струи 12 м).

Характеристика пожарных кранов:

- помещения надземной автостоянки – диаметром 65 мм в комплекте с пожарными рукавами длиной 20 м и пожарными стволами с диаметром spryska 19 мм (всего 24 пожарных крана);
- для помещений торгового центра диаметром 65 мм в комплекте с пожарными рукавами длиной 20 м и пожарными стволами с диаметром spryska 16 мм (всего 161 пожарный кран).

Запуск насосной установки для второго, третьего и четвертого этажей происходит в автоматическом режиме при падении давления в сети.

1.2.2 Система автоматического водяного пожаротушения

Автоматическая установка водяного пожаротушения в здании выполнена в виде спринклерных воздушно-водяной для пожарного отсека № 1 и водозаполненной для пожарного отсека № 2.

Спринклерная воздушно-водяная установка пожаротушения распыленной водой автоматическая с двумя управляющими сигналами на базе контрольно-пускового узла управления КПУУ «СПРИНТ», для защиты надземной автостоянки с учетом обеспечения требуемой степени защиты от

рисков и возможных последствий от ложных или несанкционированных срабатываний.

Пожарный отсек № 1 представляет четыре секции. В каждой секции установлено не более 800 оросителей. В качестве контрольно-пусковых узлов предназначен, узел управления КПУУ «Спринт» диаметром 150 мм, обеспечивающий подачу воды в трубопроводы секции только после срабатывания пожарных извещателей и распылителей для исключения ложных срабатываний.

В пожарном отсеке № 1 используются оросители спринклерные «СВУ-12», установленные на расстоянии от 0,08 до 0,3 м от перекрытия. Спринклерные оросители оборудуются колбами стандартного реагирования диаметром пять миллиметров с температурой срабатывания 57 °С. Интенсивность орошения составляет 0,14 л/с·м² с минимальной площадью орошения 120 м² с продолжительностью подачи воды не менее 30 мин с расходом воды не менее 60 л/с.

Трубопроводы установки в дежурном режиме заполнены воздухом под давлением, создаваемом компрессором. После вскрытия спринклера в защищаемом помещении автостоянки, осуществляется сброс давления воздуха из трубопроводов и начинается заполнение водой трубопроводов установки пожаротушения.

Спринклерная водозаполненная установка водяного пожаротушения для защиты торговых залов и других помещений общественного назначения, включая кинотеатры. В пожарном отсеке № 2 используются оросители спринклерные «СВУ-12», установленные на расстоянии от 0,08 до 0,3 м от перекрытия. Спринклерные оросители оборудуются колбами стандартного реагирования диаметром пять миллиметров с температурой срабатывания 57 °С и 59 °С. Интенсивность орошения составляет 0,12 л/с·м² с минимальной площадью орошения 120 м² с продолжительностью подачи воды не менее 30 мин с расходом воды не менее 30 л/с.

Организация автоматической установки пожаротушения полностью соответствует требованиям 485.1311500.2020 [38].

1.2.3 Система автоматического газового пожаротушения

Газовым пожаротушением обеспечено помещение серверной расположенное на первом этаже.

Автоматическая установка газового пожаротушения предназначена для обнаружения пожара, локализации и подавления очагов возгорания и извещения о пожаре дежурного персонала. Установка пожарной сигнализации также предназначена для выдачи сигналов на включение системы оповещения о пожаре и пуска систем газового пожаротушения, формирования сигналов управления инженерным оборудованием серверной.

Автоматическая установка газового объединена с единым органом контроля и управления на базе программного обеспечения РМ «Оперативная задача», размещенного в помещении диспетчерской.

Работа системы пожарной автоматики контролируется с пожарного поста, расположенного в помещении диспетчерской. Для управления установкой в помещении серверной предусмотрено применение блока приемно-контрольного и управления автоматическими средствами пожаротушения С2000-АСПТ, связанного по линии интерфейсу RS-485 с РМ «Оперативная задача», размещенного в помещении диспетчерской.

Блок предназначен для:

- защиты одного направления пожаротушения;
- управления автоматической установкой газового пожаротушения в автоматическом и дистанционном режимах;
- приёма и обработки сигналов от автоматических и ручных пассивных пожарных извещателей;
- управления звуковыми и световыми оповещателями;
- управления инженерным оборудованием (отключением вентиляционных систем и др.);

- приёма команд и передачи извещений по интерфейсу RS-485 на сетевой контроллер (пульт контроля и управления «С2000М»);
- контроля исправности цепей управления, световых и звуковых оповещателей;
- контроля исправности автоматической установки пожаротушения;
- приёма извещений от датчиков состояния дверей, сигнализаторов давления, выходов неисправности, блоков контрольно-пусковых «С2000-КПБ», устройств дистанционного пуска.

Для управления приборами С2000-АСПТ в помещении диспетчерской размещены блоки индикации систем пожаротушения С2000-ПТ. Блок С2000-ПТ обеспечивает дистанционное управление приборами С2000-АСПТ, световую и звуковую индикацию состояния до четырех направлений пожаротушения.

Для обнаружения пожара в помещении серверной применены извещатели пожарные дымовые аспирационные Vesda.

Размещение извещателей выполнено в соответствии с требованиями 484.1311500.2020 [37].

Для локализации и подавления очагов возгорания применены генераторы газового пожаротушения ГГПТ-7,0. Защищаемый объем для тушения пожара не более семи метров кубических.

Для расширения линий пуска генераторов газового пожаротушения предусмотрено применение контрольно-пусковых блоков С2000-КПБ.

Ручной (дистанционный) пуск зон пожаротушения предусмотрено с устройств дистанционного пуска УДП513-3М, которые размещены у входов в защищаемые помещения.

Внутри помещения установлены светозвуковые оповещатели «ГАЗ! Уходи» «Молния-24В-3». Снаружи помещения у входной двери размещены светозвуковые оповещатели «ГАЗ! Не входи» «Молния-24В-3» и световые оповещатели «Автоматика отключена» Молния-24В».

Контроль положения двери и блокировки автоматического пуска системы пожаротушения выполнен путем размещения на верхней части блокируемого элемента (двери) на расстоянии 200 мм от вертикальной линии раствора дверного полотна извещателя охранного магнитно-контактного ИО102-26 исп.00.

При возникновении пожара в защищаемых помещениях и срабатывании пожарного извещателя, установленного в этом помещении сигнал о срабатывании прибора С2000-АСПТ поступает на сетевой контроллер С2000-М и РМ «Оперативная задача», который фиксирует поступивший сигнал «Внимание» и звуковым сигналом оповещает дежурный персонал о событии. При срабатывании в защищаемом помещении двух и более пожарных извещателей вышеуказанные сигналы передаются на С2000-М и РМ «Оперативная задача», который фиксирует поступившие сигналы.

С2000-АСПТ производит запуск системы оповещения, включая светозвуковые оповещатели «ГАЗ! Уходи» на время безопасной эвакуации помещения серверной и по истечении времени безопасной эвакуации формирует сигналы на запуск установок газового пожаротушения. Одновременно с пуском генераторов газового пожаротушения снаружи помещения у входной двери включаются светозвуковые оповещатели «ГАЗ! Не входи».

1.2.4 Автоматическая установка пожарной сигнализации

Автоматическая установка пожарной сигнализации является составляющей частью интегрированной системы охраны «Орион» НВП «Болид», которая состоит из нескольких подсистем, каждая из которых работает под управлением своего пульта контроля и управления (ПКУ) «С2000М»:

- ПКУ «С2000М»-№ 1 – приборы ПС и АПТ на первом и втором этажах;
- ПКУ «С2000М»-№ 2 – приборы ПС и АПТ на третьем и четвертом этажах;

- ПКУ «С2000М»-№ 3 – приборы охранной сигнализации здания;
- ПКУ «С2000М»-№ 4 – приборы охранной сигнализации гипермаркета.

Работа системы автоматической пожарной сигнализации здания контролируется с диспетчерской комнаты. Комната диспетчерской обеспечена городской телефонной связью для возможности оперативного взаимодействия с аварийно-спасательными службами.

В качестве основного сетевого контроллера объекта выступает сервер с программным обеспечением «Орион Про». Под управлением сервера локальные подсистемы имеют сводную базу данных и общее взаимодействие. Сервер «Орион Про» установлен в шкафу в помещении диспетчерской.

Для формирования сигналов управления зонами оповещения людей о пожаре предусмотрено применение сигнально-пусковых блоков С2000-СП1.

Для обнаружения пожара в защищаемых помещениях применены пожарные извещатели:

- извещатели пожарные дымовые адресно-аналоговые ДИП-34А-01-02;
- извещатели ручные адресные ИПР 513-3АМ исп.01;
- извещатели пожарные тепловые линейные RHSC производства компании Protectowire Inc;
- извещатели пожарные дымовые линейные С2000-Спектрон-607.

Установленные извещатели, а также их размещение соответствует требованиям 484.1311500.2020 [37].

Для выдачи сигналов исполнительным устройствам и контроля состояния технологического оборудования используются:

- сигнально-пусковой релейный блок «С2000-СП4»;
- сигнально-пусковой блок релейный адресный «С2000-СП2»;
- сигнально-пусковой блок релейный адресный «С20000-СП4/24»;
- адресные расширители «С2000-8».

Ручной (дистанционный) пуск зон дымоудаления предусмотрен с элементов дистанционного управления адресных ЭДУ513-3АМ, которые размещены на выходах из зон дымоудаления, на путях эвакуации.

Извещатели пожарные адресные и модули включены в адресные шлейфы контроллеров двухпроводных линий «С2000-КДЛ-2И» фирмы «Болид».

Контроллер двухпроводных линий «С2000-КДЛ-2И», предназначен для работы в составе системы пожарной сигнализации «Орион» фирмы «Болид» и может обслуживать до 127 адресных устройств (дымовых, тепловых адресно-аналоговых пожарных извещателей, ручных адресных извещателей, модулей оповещения, модулей контроля и мониторинга и др.)

Контроллер С2000М может обслуживать до 2048 зон (адресных извещателей, шлейфов сигнализации, контролируемых цепей и контролируемых выходов).

Управляющее программное обеспечение, с которым работает пожарная сигнализация, предусматривает индивидуальную настройку чувствительности адресно-аналоговых извещателей.

Электропитание приборов пожарной сигнализации предусмотрено от источника бесперебойного питания постоянного тока напряжением 24 В типа «Скат» со встраиваемыми аккумуляторными батареями.

Адресные дымовые точечные пожарные извещатели установлены в помещениях на потолке с учетом расстановки светильников на расстоянии не более восьми метров друг от друга и не более четырех метров от стен. Дополнительно установлены точечные дымовые извещатели в пространствах за подвесным потолком.

Адресные ручные пожарные извещатели установлены на стенах на путях эвакуации на высоте 1,5 м от пола.

Пожарные извещатели теплового линейного типа установлены в помещении автостоянки на первом этаже. Расстояние между извещателями два метра.

1.2.5 Система оповещения и управления эвакуацией

В здании ТРЦ смонтирована система оповещения и управления эвакуацией четвертого типа, что соответствует требованиям СП 3.13130.2009 [36].

Система оповещения и управления эвакуацией включает в себя:

- речевое оповещение о пожаре;
- световые указатели «Выход»;
- эвакуационные знаки пожарной безопасности, указывающие направление движения;
- обратную связь зон пожарного оповещения с помещением пожарного поста [48].

Световые указатели «Выход» и эвакуационные знаки безопасности установлены на путях эвакуации, включаются одновременно с основными осветительными приборами, что соответствует пункту 5.1 СП 3.13130.2009 [39].

Обратная связь зон оповещения с диспетчером (пожарный пост) обеспечивается административным персоналом, ответственным за организацию эвакуации, посредством беспроводной связи (рации, мобильные телефоны) и по каналам внутренней телефонной сети.

Система речевого оповещения выполнена на базе оборудования торговой марки «Inter-M» и представляет собой многозонную систему оповещения.

Разделение на зоны оповещения организовано следующим образом:

- автостоянка;
- гипермаркет;
- торговые помещения, галереи, кафе второго этажа;
- торговые помещения, галереи, третьего этажа;
- торговые помещения, галереи, фудкорт, кафе и рестораны четвертого этажа.

Система функционирует на базе персонального компьютера с установленным программным обеспечением «MS 6100». Данное программное обеспечение позволяет сконфигурировать следующий режим работы системы в автоматическом режиме:

- в первую очередь оповещается дежурный, находящийся в помещении пожарного поста и персонал ТРЦ;
- во вторую очередь - зона повышенной опасности (этаж/зона, откуда пришел сигнал о возгорании);
- в третью очередь - все этажи/зоны, находящиеся выше этажа возгорания;
- в четвертую очередь - все зоны оповещения ТРЦ.

Оповещение осуществляется трансляцией в указанные зоны заранее записанных речевых сообщений с индивидуальным для каждой зоны текстом.

Громкоговорители установлены во всех помещениях с постоянным и временным пребыванием людей с учетом необходимой слышимости.

Запуск системы оповещения осуществляется автоматически через релейные выходы контрольно-пусковых блоков С2000-СП1, которые установлены совместно с оборудованием системы оповещения и управления эвакуацией на пожарном посту.

Предусмотрена техническая возможность сопряжения с системой оповещения ГО и ЧС для трансляции сигналов оповещения о чрезвычайных ситуациях и гражданской обороны.

Для обеспечения устойчивой работы оборудования предусмотрены источники бесперебойного питания – 220В/50Гц, которые установлены в телекоммуникационных шкафах совместно с оборудованием.

1.2.6 Системы противодымной вентиляции

Системы противодымной вентиляции предусматриваются автономными для каждого пожарного отсека, кроме систем приточной противодымной вентиляции, предназначенных для защиты лифтовых шахт, сообщающихся с различными пожарными отсеками.

Так же отдельными для групп помещений, размещенных в пожарных отсеках, предусмотрены системы общеобменной вентиляции.

При возникновении пожара в автостоянке предусмотрено:

- удаление дыма из автостоянки;
- подача наружного воздуха в тамбур-шлюзы, отделяющие автостоянку от помещений иного назначения;
- подача наружного воздуха в шахты лифтов с режимом «перевозка пожарных подразделений», соединяющие автостоянку с другими этажами здания;
- открытие противопожарных нормально закрытых клапанов с реверсивными приводами;
- закрытие противопожарных нормально открытых клапанов с электромеханическими приводами.

Компенсация воздуха, удаляемого из автостоянки системами вытяжной противодымной вентиляции, осуществляется через открытые проемы для въезда/выезда автомобилей.

При возникновении пожара в помещениях торгового комплекса реализуется:

- удаление дыма из коридоров с первого по четвертый этаж;
- удаление дыма из помещений с первого по четвертый этаж;
- удаление дыма из атриума на первом, третьем и четвертом этажах;
- удаление дыма из залов кинотеатра;
- подача наружного воздуха в коридоры с первого по четвертый этаж;
- подача наружного воздуха в шахты лифтов;
- подача наружного воздуха в лестничные клетки;
- подача наружного воздуха в зоны безопасности для маломобильных групп населения на втором, третьем и четвертом этажах, в период эвакуации людей в помещение пожаробезопасной зоны;

- открытие противопожарных нормально закрытых клапанов с реверсивными приводами;
- закрытие противопожарных нормально открытых клапанов с электромеханическими приводами.

Для возмещения объемов удаляемых продуктов горения из помещений и коридоров, защищаемых вытяжной противодымной вентиляцией, в нижние части этих помещений и коридоров осуществляется подача наружного воздуха с расходом, обеспечивающим дисбаланс не более 30 %. Компенсирующая подача наружного воздуха в данные помещения и коридоры осуществляется системами приточной противодымной вентиляции с механическим и естественным побуждением.

В качестве дымоприемных устройств установлены противопожарные нормально закрытые клапаны «стенowego» и «канального» типов с пределом огнестойкости EI 60 с реверсивными приводами.

Удаление дыма в автостоянке реализовано из каждой конструктивно выделенной дымовой зоны и осуществляется радиальными вентиляторами через автоматически открывающиеся нормально закрытые клапаны, установленные на воздуховодах, а также крышными вентиляторами.

Удаление дыма из атриумов, выставочных залов, зрительных залов кинотеатров, коридоров и торговых помещений осуществляется крышными вентиляторами через автоматически открывающиеся нормально закрытые клапаны, установленные на шахтах и воздуховодах.

Вентиляторы вытяжной противодымной вентиляции, обслуживающие автостоянку и атриумы, располагаются на кровле.

Приемные отверстия наружного воздуха систем приточной противодымной вентиляции находятся на расстоянии более пяти метров от выбросов продуктов горения систем противодымной вытяжной вентиляции.

Для зон безопасности предназначены две различные системы приточной противодымной вентиляции. Одна из систем обеспечивает подачу наружного воздуха в защищаемое помещение в количестве, достаточном для его

истечения через одну открытую дверь (в период эвакуации людей в помещение пожаробезопасной зоны), другая система предназначена для подачи нагреваемого наружного воздуха в данные помещения при закрытых дверях (в период с момента завершения эвакуации людей в помещение зоны безопасности и в течение времени их пребывания в этом помещении до начала спасательных работ пожарными подразделениями). Для предотвращения создания избыточного давления на дверях защищаемых помещений предусматриваются шахты вытяжной естественной вентиляции с устройством в них противопожарных клапанов избыточного давления [47].

Вентиляционные установки и вентиляторы систем приточной противодымной вентиляции располагаются на кровле здания.

Воздуховоды систем приточной и вытяжной противодымной вентиляции, покрыты комплексной огнезащитной системой «МАТ Прошивной Техно» производства ОАО «Технониколь», с различными пределами огнестойкости от EI30 до EI60.

Системы противодымной вентиляции выполнены в соответствии с требованиями СП 7.13130.2013 [13].

1.3 Анализ происшествий, произошедших за последние пять лет в торгово-развлекательных центрах РФ

Наиболее крупными происшествиями, произошедшими в ТРЦ являются пожары. Огромный резонанс обусловлен наличием погибших, пострадавших, а также большого материального ущерба. Какие-либо другие происшествия не имеют такого освещения в средствах массовой информации. Это объясняется несопоставимо меньшими последствиями по сравнению с вредом, наносимым пожарами.

Рассматривая данные приведенные в [26] можно сделать вывод, что пожары в ТРЦ отнесены к «Зданиям, сооружениям и помещениям для культурно-досуговой деятельности населения», при этом в отчетности есть

показатель «Здания, сооружения и помещения предприятий торговли» функции которых также присущи ТРЦ. Скорее всего данное разделение обусловлено непосредственным местом возникновения пожара. Статистические данные за последние пять лет приведенных в таблице 2.

Для понятия того, что происходит на подобных пожарах приведем краткое описание некоторых из них.

Таблица 2 – Статистические данные о пожарах в ТРЦ за последние пять лет

Показатель	Год				
	2016	2017	2018	2019	2020
Количество пожаров, ед.	247	233	272	351	278
Прямой материальный ущерб, тыс. руб.	174416	76792	69175	85793	467614
Погибло, чел.	1	3	61	1	1

10 июля 2017 г. в 17 ч 39 мин произошло загорание в ТРЦ «РИО» города Москва. Очаг пожара располагался в магазине на минус первом этаже, на момент возгорания в здании находилось около 3000 человек. Благодаря вовремя сработавшим системам оповещения и обнаружения пожара, а также правильным действиям сотрудников ТРЦ и помогавшим им посетителям почти все люди из здания эвакуировались. В ходе тушения пожара было установлено, что на втором этаже находятся четверо человек. Из-за сильного задымления, больших площадей люди были спасены в 21 ч 28 мин. Площадь пожара составила более 1000 м², пострадали 14 человек [9]. В тушении принимали участие 81 человек личного состава, 25 единиц пожарной техники. На рисунке 3 представлена обстановка снаружи горящего ТРЦ.

25 марта 2018 г. в 15 ч 59 мин произошло загорание в ТРЦ «Зимняя вишня» город Кемерово. Очаг пожара располагался в детской игровой комнате на четвертом этаже. В результате пожара погибло 60 человек среди которых 37 детей, пострадало 147 человек. Огонь распространился на площади 1600 м². В ходе расследования установлено, что СОУЭ была неисправна. Данных о работавших системах пожаротушения в открытых источниках не приводится

[24]. Всего в тушении пожара было задействовано 680 человек личного состава, более 110 единиц пожарной техники. На рисунке 4 представлена обстановка снаружи горящего ТРЦ.



Рисунок 3 – Обстановка снаружи горящего ТРЦ «РИО» г. Москва



Рисунок 4 - Обстановка снаружи горящего ТРЦ «Зимняя вишня» г. Кемерово

21 сентября 2019 г. в 6 ч 00 мин произошло загорание в торговом центре «Максим» город Владивосток. Площадь пожара составила 1500 м². Очаг располагался в одном из складских помещений, которое не было оборудовано автоматической системой пожаротушения. Поскольку пожар возник в нерабочее время посетителей в торговом центре не было. В результате был причинен значительный материальный ущерб собственнику здания и арендаторам помещений, погибших и пострадавших нет. В тушении принимали участие 60 человек личного состава и 19 единиц пожарной техники [23]. На рисунке 5 представлена обстановка снаружи горящего торгового центра.



Рисунок 5 - Обстановка снаружи горящего торгового центра «Максим» г. Владивосток

25 февраля 2020 г. в 11 ч 45 мин произошло загорание в торговом центре «Пассаж» город Махачкала. Площадь пожара составила 2500 м². Очаг пожара располагался в торговом павильоне рядом со зданием торгового центра.



Рисунок 6 - Обстановка снаружи горящего торгового центра «Пассаж» г. Махачкала

В последствии огонь перекинулся на кровлю и распространился по ней. Люди были своевременно эвакуированы, погибших и пострадавших нет. В тушении принимали участие 61 человек личного состава и 14 единиц пожарной техники [5]. На рисунке 6 представлена обстановка снаружи горящего торгового центра.

1.4 Оценка возможности проведения спасательных работ и тушения пожара подразделениями местного ПСГ г. Хабаровска

1.4.1 Исходные данные для оценки

Для оценки возможности проведения спасательных работ необходимо располагать данными о количестве сил и средств, прибывающих к месту пожара.

Согласно [17] на объект предусмотрена высылка подразделений по рангу пожара № 4. Количество личного состава газодымозащитной службы (далее ГДЗС), прибывающего по повышенному номеру с учетом руководства подразделений, а также тип средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Количество личного состава ГДЗС прибывающего к месту

Подразделение	Количество личного состава ГДЗС, чел	Время следования, мин	Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения		
			тип	баллон, шт.	давление в баллоне, кгс/см ²
ПСЧ-1	8	4	АП «Омега»	1	280
ПСЧ-2	8	3	АП «Омега»	1	280
ПСЧ-3	4	7	АП «Омега»	1	280
ПСЧ-30	4	8	АП «Омега»	1	280
ПСЧ-35	8	10	АП «Омега»	1	280
ПСЧ-99	4	11	АП «Омега»	1	280
СПСЧ	4	14	АП «Омега»	1	280
СПТ	4	7	АП «Омега»	1	280
Руководство	10	20	АП «Омега»	1	280
Итого	54	-	-	-	-

В таблице 3 давление в баллоне аппарата принято усредненным. Давление при постановке в боевой расчет не должно быть меньше 260 кгс/см², а максимальное, как правило после проведения проверок составляет 300 кгс/см².

Также необходимы данные по количеству пожарных рукавов, доставляемых к месту пожара, они приведены в таблице 4 согласно [17].

Таблица 4 – Пожарная техника, прибывающая к месту пожара

Подразделение	Техника	Обозначение на схеме	Резервные баллоны, шт.	Количество пожарных рукавов, шт		
				51	66	77
ПСЧ-1	АЦ-3,0-40(43206)	1.1	4	6	4	6
	АЦ-5,0-40(5557)	1.2	4	6	2	6
	АЛ-30(131)	1.3	-	-	-	3
ПСЧ-2	АЦ-8,0-70(43118)	2.1	4	6	4	8
	АЦ-6,0-40(5557)	2.2	4	6	4	6
ПСЧ-3	АЦ-5,0-40(5557)	3.1	4	6	4	6
ПСЧ-30	АЦ-3,0-40(43206)	4.1	4	6	4	6
	АЛ-30(131)	4.2	-	-	-	3
ПСЧ-35	АЦ-3,0-40(43206)	5.1	4	6	4	8
	АГ-16(3205)	5.2	14	-	-	-
ПСЧ-99	АЦ-3,2-40/4(43253)	6.1	4	6	4	8
СПСЧ	АЦ-8,0-70(43118)	7.1	4	6	4	8

Продолжение таблицы 4

Подразделение	Техника	Обозначение на схеме	Резервные баллоны, шт.	Количество пожарных рукавов, шт		
				51	66	77
СПТ	АШ-7(2705)	8	-	-	-	-
Итого	АЦ-9 АЛ-2 АГ-1 АШ-1	-	50	54	34	68

В качестве места возникновения пожара принимаем помещение магазина компьютерной и бытовой техники, расположенное на втором этаже. Площадь магазина составляет 982 м², ограничена противопожарными перегородками с пределом огнестойкости 1,2 ч. Сторона, выходящая в торговую галерею выполнена из закаленного стекла с пределом огнестойкости один час. Очаг пожара расположен в центре помещения. Системы дымоудаления и противопожарной защиты были неисправны. Время от начала пожара до сообщения о нем в пожарную охрану принимаем равным двум минутам. В торговом помещении второго этажа находится два пострадавших, информация о них пожарным не поступала. Пожар распространяется по помещению, продукты горения распространяются по площади этажа, а также в вышерасположенные этажи через проемы для эскалаторов. Время возникновения пожара 14 ч 00 мин.

1.4.2 Параметры пожара и действия по прибытии ПСЧ-2

Прибывает дежурный караул ПСЧ-2. Силами администрации ТРЦ производится эвакуация людей из здания. Со слов представителя администрации на третьем этаже в торговом помещении рядом с кафе заблокированы шесть человек.

Определяем время развития пожара:

$$\tau_P = \tau_{\text{сооб}} + (\tau_{\text{ов}} + \tau_{\text{сив}}) + \tau_{\text{сл}} + \tau_{\text{рп}}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{сооб}}$ – время от возникновения пожара до сообщения, $\tau_{\text{сооб}}=2$ мин;

$(\tau_{ОВ} + \tau_{Сив})$ – сумма времени обработки вызова и выезда подразделения, принимается равным одной минуте, согласно [7];
 $\tau_{СЛ}$ – время следования подразделения, принимается по таблице 3;
 $\tau_{РП}$ – время развертывания подразделения, принимаем три минуты.

Произведем расчет времени развития пожара по формуле (1):

$$\tau_{Р-ПСЧ2} = 2 + 1 + 3 + 3 = 9 \text{ мин}$$

Так как время развития пожара равно девяти минутам, путь пройденный огнем определяется по формуле:

$$L_{П} = 0,5 \cdot V_{л}^{\text{табл}} \cdot \tau_{Р-ПСЧ2}, \quad (2)$$

где $V_{л}^{\text{табл}}$ – линейная скорость распространения пожара, принимается равным 0,85 м/мин, согласно [7].

Произведем расчет пути, пройденного огнем по формуле (2).

$$L_{П} = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 9 = 3,83 \text{ м}$$

Для определения площади пожара наносим полученный путь, пройденный огнем на плане помещения и определяем форму площади пожара. Расчетная форма площади пожара, представленная на рисунке 7.

Расчет площади пожара при круговой форме производится по формуле:

$$S_{П} = \pi \cdot L_{П}^2, \quad (3)$$

$$S_{П} = 3,14 \cdot 3,83^2 = 46,1 \text{ м}^2$$

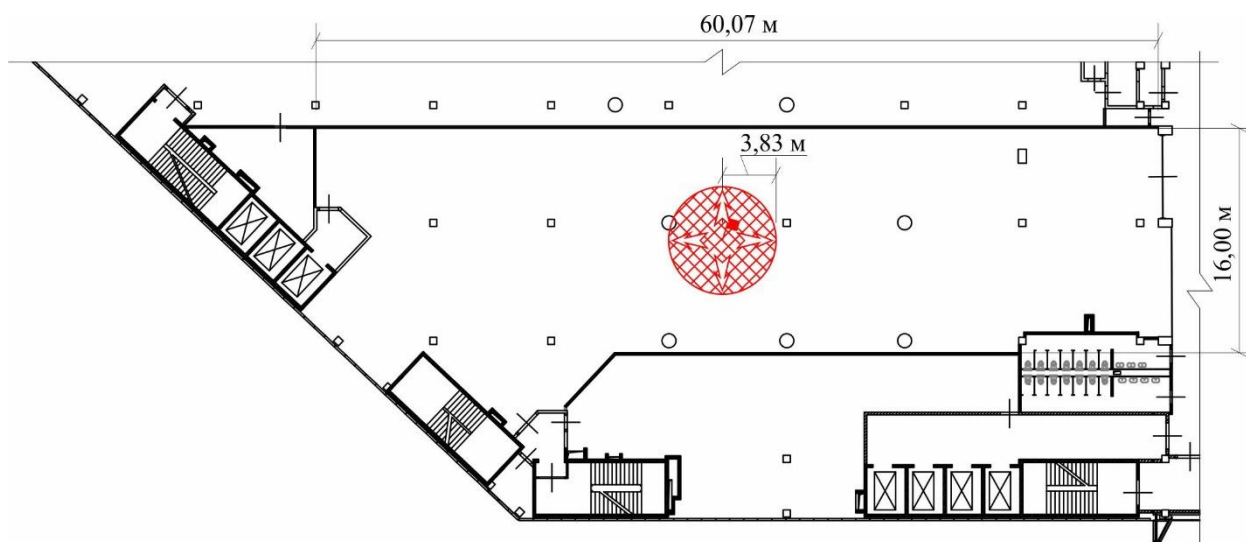


Рисунок 7 – Форма площади пожара на девятой минуте

В связи с тем, что первое прибывшее подразделение организовало спасение людей, заблокированных на третьем этаже и не подало стволов на тушение, дальнейшие расчеты по тушению для девятой минуты производить не будем. При этом рассчитаем время работы двух звеньев ГДЗС спасающих шесть человек с третьего этажа. Включение в аппараты производилось непосредственно у входа в непригодную для дыхания среду, на лестничной площадке третьего этажа. Методика проведения расчетов приведена в [10], [49].

Расчет давления, которое может максимально израсходовать газодымозащитник произведем по формуле:

$$P_{\text{max пад.}} = \frac{P_{\text{min вкл.}} - P_{\text{уст.раб.}}}{2,5}, \quad (4)$$

где $P_{\text{min вкл.}}$ – минимальное давление в составе звена, в соответствии с таблицей 3 равно 280 кгс/см^2 ;

$P_{\text{уст.раб.}}$ – давление воздуха необходимое для устойчивой работы редуктора, принимается равным 10 кгс/см^2 , в соответствии с [2];

2,5 – коэффициент учитывающий необходимый запас воздуха.

Произведем расчет давления по формуле (4):

$$P_{\text{max пад.}} = \frac{280 - 10}{2,5} = 108 \text{ кгс/см}^2$$

Давление, при котором звену ГДЗС необходимо выходить на свежий воздух определяется по формуле:

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{min вкл.}} - P_{\text{max пад.}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{min вкл.}}$ – минимальное давление в составе звена, в соответствии с таблицей 3 равно 280 кгс/см^2 .

$$P_{\text{вых}} = 280 - 108 = 172 \text{ кгс/см}^2$$

Промежуток времени с момента включения звена до подачи команды на возвращение определяется по формуле:

$$\Delta T = \frac{P_{\text{max пад.}} \cdot V_6}{40 \cdot K_{\text{сж}}}, \quad (6)$$

где V_6 – вместимость баллона, согласно [2] равна 7 л;

$K_{\text{сж}}$ – коэффициент сжимаемости воздуха, принимается равным 1,1, в соответствии с [10];

40 – средний расход воздуха, л/мин.

Произведем расчет времени до подачи команды на возвращение по формуле (6):

$$\Delta T = \frac{108 \cdot 7}{40 \cdot 1,1} = 17 \text{ мин}$$

Исходя из результатов полученных значений, рассчитанных по формулам (4), (6) можно сделать вывод, что падение кислорода за одну минуту работы при движении звена у каждого газодымозащитника составит в среднем 6,3 кгс/см².

Авторами работ [6], [45] были получены значения скорости передвижения звеньев ГДЗС при видимости менее трех метров 4,5 м/мин и 39 м/мин соответственно. В дальнейших расчетах примем скорость передвижения звена равной 21 м/мин, что соответствует среднему значению.

Длина пути звена ГДЗС в непригодной для дыхания среде от входа до команды на возвращение, определяется по формуле:

$$S = \Delta T \cdot V, \quad (7)$$

где V – скорость передвижения звена ГДЗС, принята 21 м/мин.

$$S = 17 \cdot 21 = 357 \text{ м}$$

Учитывая место нахождения спасаемых на третьем этаже, расстояние от места включения звена ГДЗС составляет 55 м. Принимая во внимание, что на обратном пути звенья будут эвакуировать людей скорость передвижения примем 10,5 м/мин [50].

Тогда время выхода звеньев 2.1 и 2.2 на свежий воздух, рассчитаем по формуле:

$$T_{\text{возвр.}} = T_{\text{вкл.}} + T_1 + T_2, \quad (8)$$

где $T_{\text{вкл.}}$ – время включения звеньев, с момента возникновения пожара;

T_1 – время затраченное на следование звеньев к месту, мин;

T_2 – время затраченное на следование обратно, мин.

Рассчитаем по формуле (8) время возвращения звеньев:

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{09} + 3 + 5 = 14 \text{ ч } 17 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов, которое принимаем равным 10 минутам, готовность звеньев к выполнению следующей боевой задачи в 14 ч 27 мин.

1.4.3 Параметры пожара и действия по прибытии ПСЧ-1

На момент прибытия ПСЧ-1, звенья ГДЗС ПСЧ-2 готовятся для спасения с третьего этажа. Учитывая время прибытия равное четырем минутам (таблица 3), определяем по формуле (1) время развития пожара на момент прибытия ПСЧ-1:

$$\tau_{\text{р-ПСЧ1}} = 2 + 1 + 4 + 3 = 10 \text{ мин}$$

Путь пройденный огнем определяем по формуле (2):

$$L_{\text{п}} = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 10 = 4,25 \text{ м}$$

Форма площади пожара на момент разворачивания ПСЧ-1 представлена на рисунке 8.

Площадь пожара рассчитываем по формуле (3):

$$S_{\text{п}} = 3,14 \cdot 4,25^2 = 56,7 \text{ м}^2$$

Производится проверка помещений второго этажа. Звено 1.1 с центрального входа, звено 1.2 с северо-восточной стороны здания. Проверяемая площадь помещения представлена на рисунке А.1.

Время возвращения звена 1.1 определим по формуле:

$$T_{\text{возвр.}} = T_{\text{вкл.}} + 2 \cdot \Delta T, \quad (9)$$

где $T_{\text{вкл.}}$ – время включения звеньев 1.1 и 1.2, принимаем 14 ч 10 мин.

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{10} + 2 \cdot 17 = 14 \text{ ч } 44 \text{ мин}$$

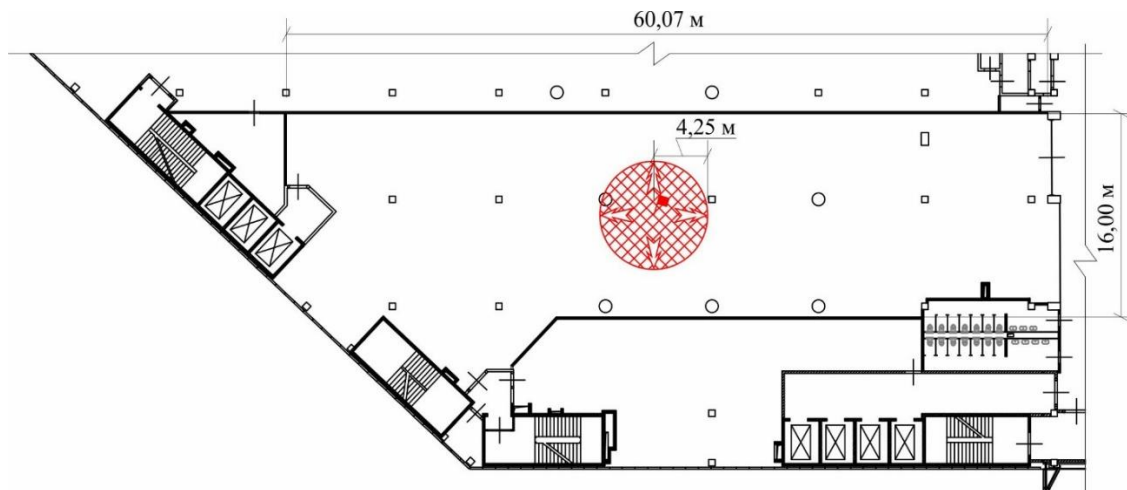


Рисунок 8 – Форма площади пожара на 10 минуте

С учетом времени на замену баллонов готовность звена к выполнению следующей боевой задачи в 14 ч 54 мин.

Звено 1.2, до обнаружения пострадавшего преодолело расстояние 231 м затратив на это 11 мин. Для выноса пострадавшего на свежий воздух, расстояние составило 63 м, затраченное время шесть минут. Время возвращения звена 1.2 определим по формуле (8):

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{10} + 11 + 6 = 14 \text{ ч } 27 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена к выполнению следующей боевой задачи в 14 ч 37 мин.

1.4.4 Параметры пожара и действия по прибытии ПСЧ-3 и СПТ

Учитывая время прибытия равное семи минутам (таблица 3) и время развертывания равное двум минутам, определяем по формуле (1) время развития пожара на момент развертывания ПСЧ-3:

$$\tau_{P-PC3} = 2 + 1 + 7 + 2 = 12 \text{ мин}$$

Так как время равно 12 минутам и на тушение не поданы стволы, путь пройденный огнем определяется по формуле:

$$L_{\Pi} = 5 \cdot V_{л}^{\text{табл}} + V_{л}^{\text{табл}} \cdot \tau_{P-PC3}, \quad (10)$$

$$L_{\Pi} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 12 = 14,45 \text{ м}$$

Форма площади пожара на момент прибытия ПСЧ-3 и СПТ представлена на рисунке 9.

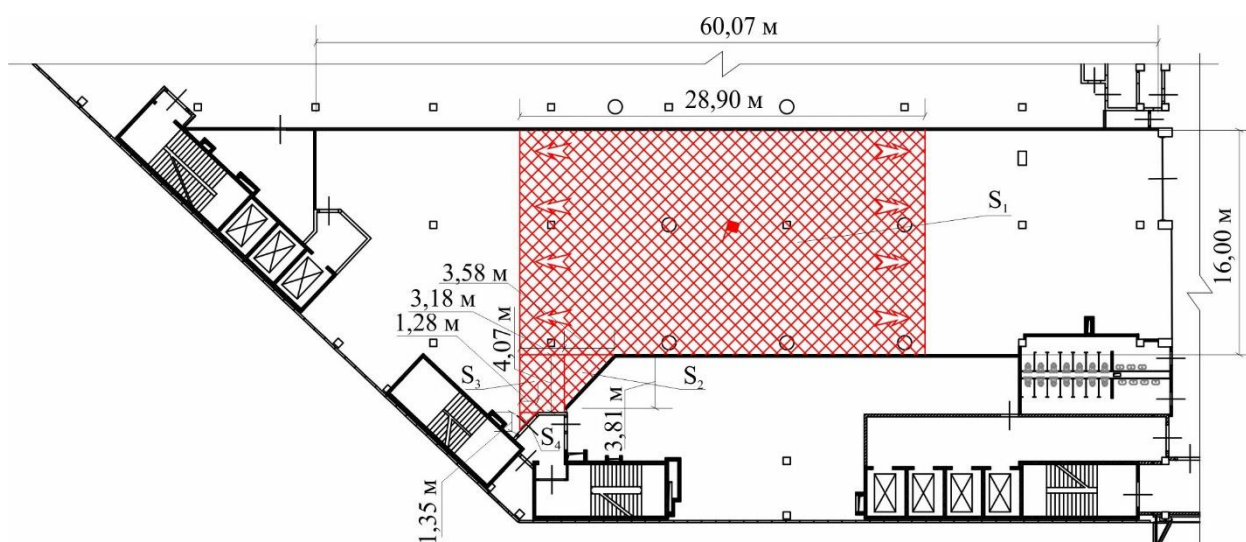


Рисунок 9 – Форма площади пожара на 12 минуте

Так как форма площади пожара сложная, воспользуемся суммой площадей простых фигур:

$$S_{\Pi} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = a_1 \cdot b_1 + \frac{a_2 \cdot b_2}{2} + a_3 \cdot b_3 + \frac{a_4 \cdot b_4}{2}, \quad (11)$$

где a , b – длина и ширина соответствующей площади, м;

$$S_{\text{п}} = 28,9 \cdot 16 + \frac{3,58 \cdot 3,81}{2} + 3,18 \cdot 4,07 + \frac{1,28 \cdot 1,35}{2} = 483,02 \text{ м}^2$$

Организуется оперативный штаб пожаротушения. Звено 3.1 подает ствол РСКУ-50 через вход, расположенный с южной стороны здания. Пройдя 98 м, на преодоление которых затрачивает пять минут, обнаруживает очаг пожара и работает на его тушение. Дальнейшие параметры тушения пожара производить не будем, так как площадь пожара значительно больше возможности тушения одним стволом.

Рассчитаем параметры работы звена 3.1 у очага пожара. Контрольное давление, при котором звену необходимо выходить на свежий воздух определяется по формуле:

$$P_{\text{к.вых}} = P_{\text{max пад.}} + \frac{1}{2} \cdot P_{\text{max пад.}} + P_{\text{уст.раб.}}, \quad (12)$$

где $P_{\text{max пад.}}$ – максимальное падение давления в звене у места пожара составляет 32 кгс/см².

Определим величину давления по формуле (12):

$$P_{\text{к.вых}} = 32 + \frac{1}{2} \cdot 32 + 10 = 58 \text{ кгс/см}^2$$

Время работы звена у очага пожара определяется по формуле:

$$T_{\text{раб.}} = \frac{(P_{\text{min оч.}} - P_{\text{к.вых.}}) \cdot V_{\text{б}}}{40 \cdot K_{\text{сж}}}, \quad (13)$$

где $P_{\text{min оч.}}$ – минимальное давление у очага составляет 248 кгс/см².

Определим время работы у очага по формуле (13)

$$T_{\text{раб.}} = \frac{(248 - 58) \cdot 7}{40 \cdot 1,1} = 30 \text{ мин}$$

Расстояние для выхода звена составляет 50 м, на преодоление которого будет затрачено три минуты. Формула для определения времени возвращения примет вид:

$$T_{\text{возвр.}} = T_{\text{вкл.}} + T_1 + T_2 + T_{\text{раб.}}, \quad (14)$$

где $T_{\text{вкл.}}$ – время включения звена 3.1, принимаем 14 ч 12 мин;

T_1 – время затраченное на следование звена 3.1 к месту, пять минут;

T_2 – время затраченное на следование звена 3.1 обратно, три минуты.

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{12} + 5 + 3 + 30 = 14 \text{ ч } 50 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена 3.1 к выполнению следующей боевой задачи в 15 ч 00 мин.

1.4.5 Параметры пожара и действия по прибытии ПСЧ-30

Учитывая время прибытия равное восьми минутам (таблица 3) и время разворачивания равное двум минутам, определяем по формуле (1) время развития пожара на момент разворачивания ПСЧ-30:

$$\tau_{\text{Р-ПСЧ30}} = 2 + 1 + 8 + 2 = 13 \text{ мин}$$

Так на тушение подан один ствол (со стороны торговой галереи), а пожар распространяется в двух направлениях, путь пройденный огнем в сторону торговой галереи и в сторону наружной стены будет определяться по разным формулам.

Путь пройденный огнем в сторону торговой галереи определяется по формуле:

$$L_{\Pi} = 5 \cdot V_{\text{л}}^{\text{табл}} + V_{\text{л}}^{\text{табл}} \cdot \tau_{\text{Р-ПСЧЗ}} + 0,5 \cdot V_{\text{л}}^{\text{табл}} \cdot \tau_3, \quad (15)$$

где τ_3 – время развертывания последующих подразделений до момента локализации, определяется как разность момента развертывания прибывшего подразделения и время развертывания ПСЧ-3.

По формуле (15) путь, пройденный огнем в сторону торговой галереи, определяется вплоть до локализации пожара.

Определим путь, пройденный огнем по формуле (15):

$$L_{\Pi} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 12 + 0,5 \cdot 0,85 \cdot 1 = 14,88 \text{ м}$$

Путь пройденный огнем в сторону наружной стены определяется по формуле (10):

$$L_{\Pi} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 13 = 15,3 \text{ м}$$

В результате площадь пожара увеличится незначительно. ПСЧ-30 звеном 4.1 производит проверку помещений гипермаркета, через вход с западной стороны. Проверяемая площадь помещения представлена на рисунке А.1.

Так как работа звена 4.1 полностью соответствует работе звена 1.1 время возвращения определяем по формуле (9), с учетом времени включения 14 ч 13 мин:

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{13} + 2 \cdot 17 = 14 \text{ ч } 47 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена к выполнению следующей боевой задачи в 14 ч 57 мин.

1.4.6 Параметры пожара и действия по прибытии ПСЧ-35

Учитывая время прибытия равное 10 минутам (таблица 3) и время развертывания равное двум минутам, определяем по формуле (1) время развития пожара на момент развертывания ПСЧ-35:

$$\tau_{P-ПСЧ35} = 2 + 1 + 10 + 2 = 15 \text{ мин}$$

Определяем путь, пройденный огнем в сторону торговой галереи по формуле (15) с учетом того, что $\tau_3=3$ мин:

$$L_{\Pi} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 12 + 0,5 \cdot 0,85 \cdot 3 = 15,73 \text{ м}$$

Путь пройденный огнем в сторону наружной стены определяется по формуле (10):

$$L_{\Pi} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 15 = 17,0 \text{ м}$$

В соответствии с полученной формой пожара (рисунок 10) формула расчета площади будет иметь вид:

$$S_{\Pi} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = a_1 \cdot b_1 + \frac{a_2 \cdot b_2}{2} + a_3 \cdot b_3 + \frac{a_4 \cdot b_4}{2} \quad (16)$$

$$S_{\Pi} = 32,73 \cdot 16 + \frac{3,58 \cdot 3,81}{2} + 5,73 \cdot 4,07 + \frac{2,78 \cdot 2,51}{2} = 557,31 \text{ м}^2$$

Звенья 5.1 и 5.2 проверяют помещения второго этажа. Проверяемая площадь помещения представлена на рисунке А.1. Так как работа звеньев 5.1 и 5.2 (время включения 14 ч 15 мин) полностью соответствует работе звена 1.1 время возвращения определяем по формуле (9):

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{15} + 2 \cdot 17 = 14 \text{ ч } 52 \text{ мин}$$

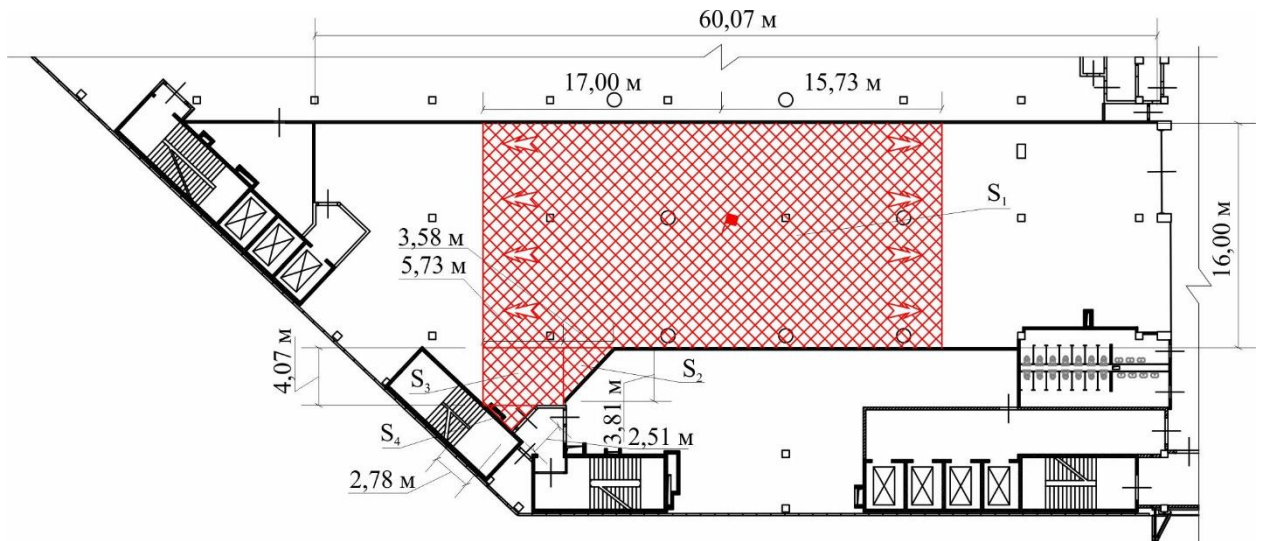


Рисунок 10 – Форма площади пожара на 15 минуте

С учетом времени на замену баллонов готовность звена к выполнению следующей боевой задачи в 15 ч 02 мин.

Расчеты параметров тушения пожара не производим, так как изменений в тушении не произошло.

1.4.7 Параметры пожара и действия по прибытии ПСЧ-99

Учитывая время прибытия равное 11 минутам (таблица 3) и время разворачивания равное двум минутам, определяем по формуле (1) время развития пожара на момент разворачивания ПСЧ-99:

$$\tau_{\text{р-ПСЧ99}} = 2 + 1 + 11 + 2 = 16 \text{ мин}$$

Определяем путь, пройденный огнем в сторону торговой галереи по формуле (15) с учетом того, что $\tau_3=4$ мин:

$$L_{\text{п}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 12 + 0,5 \cdot 0,85 \cdot 4 = 16,15 \text{ м}$$

Путь пройденный огнем в сторону наружной стены определяется по формуле (10):

$$L_{\text{п}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 16 = 17,85 \text{ м}$$

В результате площадь пожара увеличится незначительно. ПСЧ-99 звеном 6.1 производит проверку торговых помещений в центре второго этажа и на 17 минуте проверки обнаруживает пострадавшего, пройденное расстояние составило 347 м. Обратный путь звена с пострадавшим составил 126 м, затраченное на это время 12 мин. Проверяемая площадь помещения представлена на рисунке А.1.

Время возвращения звена 6.1 (время включения 14 ч 16 мин) определим по формуле (8):

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{16} + 17 + 12 = 14 \text{ ч } 45 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена к выполнению следующей боевой задачи в 14 ч 55 мин.

1.4.8 Параметры пожара и действия по прибытии СПСЧ

Учитывая время прибытия равное 14 минутам (таблица 3) и время разворачивания равное двум минутам, определяем по формуле (1) время развития пожара на момент разворачивания СПСЧ:

$$\tau_{\text{р-СПСЧ}} = 2 + 1 + 14 + 2 = 19 \text{ мин}$$

Определяем путь, пройденный огнем в сторону торговой галереи по формуле (15) с учетом того, что $\tau_3=7$ мин:

$$L_{\text{п}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 12 + 0,5 \cdot 0,85 \cdot 7 = 17,43 \text{ м}$$

Путь пройденный огнем в сторону наружной стены определяется по формуле (10):

$$L_{\Pi} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 19 = 20,4 \text{ м}$$

В соответствии с полученной формой пожара (рисунок 11) формула расчета площади будет иметь вид:

$$S_{\Pi} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = a_1 \cdot b_1 + \frac{a_2 \cdot b_2}{2} + a_3 \cdot b_3 + \frac{a_4 \cdot b_4}{2} + \frac{a_5 \cdot b_5}{2} + a_6 \cdot b_6, \quad (17)$$

$$S_{\Pi} = 37,47 \cdot 16 + \frac{3,58 \cdot 3,81}{2} + 5,73 \cdot 4,07 + \frac{2,78 \cdot 2,51}{2} + \frac{3,04 \cdot 2,97}{2} + 3,04 \cdot 1,15 = 641,16 \text{ м}^2$$

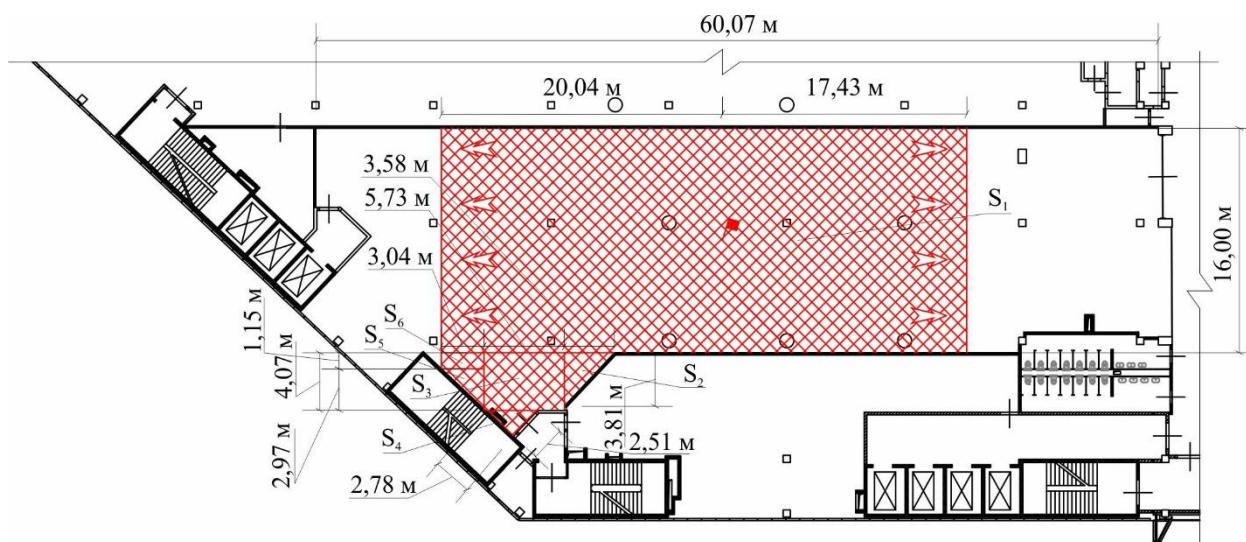


Рисунок 11 – Форма площади пожара на 19 минуте

Звено 7.1 проверяет помещение гипермаркета. Проверяемая площадь помещения представлена на рисунке А.1. Так как работа звена 7.1 (время включения 14 ч 19 мин) полностью соответствует работе звена 1.1 время возвращения определяем по формуле (9):

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{19} + 2 \cdot 17 = 14 \text{ ч } 53 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена к выполнению следующей БЗ в 15 ч 03 мин.

Через восемь минут после разворачивания СПСЧ к выполнению новой боевой задачи готовы приступить два звена ПСЧ-2. Звено 2.1 – проверяет помещение гипермаркета, проверяемая площадь помещения представлена на рисунке А.1. Звено 2.2 – подает ствол РСКУ-50 на тушение пожара.

Время возвращения звена 2.1 (время включения звена 14 ч 27 мин) определяем по формуле (9):

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{27} + 2 \cdot 17 = 15 \text{ ч } 01 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена к выполнению следующей боевой задачи в 15 ч 11 мин.

На путь к месту выполнения задачи звено 2.2 затратило четыре минуты. Так как за одну минуту падение воздуха в баллоне составляет 6,3 кгс/см² падение давления составит 25 кгс/см². Расчет по формуле (12), произведем с учетом этого значения:

$$P_{\text{к.вых}} = 25 + \frac{1}{2} \cdot 25 + 10 = 47,5 \text{ кгс/см}^2$$

Величина давления при срабатывании звукового сигнала в соответствии с [2] равна 55 кгс/см², принимаем ее в качестве давления, при котором звену необходимо выходить на свежий воздух.

Определим время работы у очага по формуле (13):

$$T_{\text{раб.}} = \frac{(255 - 55) \cdot 7}{40 \cdot 1,1} = 31 \text{ мин}$$

Время, затрачиваемое на обратный путь равно четырем минутам. Расчет времени возвращения, произведем по формуле (14):

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{27} + 4 + 4 + 31 = 15 \text{ ч } 06 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена 2.2 к выполнению следующей боевой задачи в 15 ч 16 мин.

Подача второго ствола на тушение с учетом продвижения звена 2.2 произойдет через 31 мин после начала пожара. Определяем путь, пройденный огнем в сторону торговой галереи по формуле (15) с учетом того, что $\tau_3=19$ мин:

$$L_{\text{п}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 12 + 0,5 \cdot 0,85 \cdot 19 = 22,5 \text{ м}$$

Путь пройденный огнем в сторону наружной стены определяется по формуле (10):

$$L_{\text{п}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 31 = 30,6 \text{ м}$$

В соответствии с полученной формой пожара (рисунок 12), формула расчета площади пожара примет вид:

$$\begin{aligned} S_{\text{п}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} + S_{11} + S_{12} + \\ + S_{13} + S_{14} = a_1 \cdot b_1 + \frac{a_2 \cdot b_2}{2} + a_3 \cdot b_3 + \frac{a_4 \cdot b_4}{2} + \frac{a_5 \cdot b_5}{2} + \frac{a_6 \cdot b_6}{2} + \\ + \frac{a_7 \cdot b_7}{2} + a_8 \cdot b_8 + \frac{a_9 \cdot b_9}{2} + \frac{a_{10} \cdot b_{10}}{2} + \frac{a_{11} \cdot b_{11}}{2} + \frac{a_{12} \cdot b_{12}}{2} + a_{13} \times \\ \times b_{13} + a_{14} \cdot b_{14}, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} S_{\text{п}} = 46,19 \cdot 16 + \frac{3,58 \cdot 3,81}{2} + 5,73 \cdot 4,07 + \frac{2,78 \cdot 2,51}{2} + \frac{4,35 \cdot 4,07}{2} + \\ + \frac{2,66 \cdot 2,65}{2} + \frac{3,0 \cdot 2,66}{2} + 1,96 \cdot 6,2 + \frac{3,06 \cdot 2,94}{2} + \frac{3,06 \cdot 3,26}{2} + \frac{1,96 \cdot 2,1}{2} + \end{aligned}$$

$$+ \frac{1,96 \cdot 2,06}{2} + 3,9 \cdot 5,64 + 1,36 \cdot 14,5 = 836,34 \text{ м}^2$$

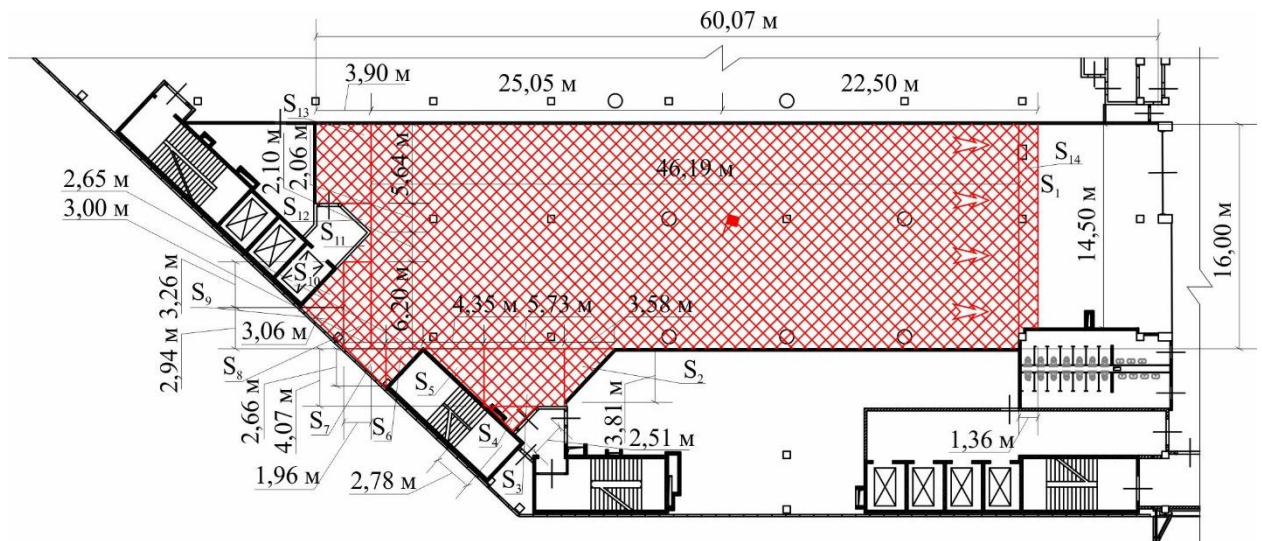


Рисунок 12 – Форма площади пожара на 31 минуте

Так как помещение, в котором произошел пожар в длину и ширину превышает глубину тушения пожара ручным пожарным стволом произведем расчет площади тушения:

$$S_T = n \cdot a \cdot h_T, \quad (19)$$

где n – количество направлений подачи стволов необходимых для

ограничения распространения пожара, $n=1$;

a – ширина помещения, $a=16$ м;

h_m – глубина тушения стволом, ручным 5 м, лафетным 10 м [7].

Рассчитаем по формуле (19) площадь тушения:

$$S_T = 1 \cdot 16 \cdot 5 = 80 \text{ м}^2$$

Требуемый расход воды на тушение определяем по формуле:

$$Q_{\text{тр}}^{\text{T}} = S_{\text{T}} \cdot j_{\text{тр}}, \quad (20)$$

где $j_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи огнетушащего средства, согласно [7] для торговых предприятий $j_{\text{тр}}=0,2$ л/(м²с).

Определим требуемый расход на тушение пожара по формуле (20):

$$Q_{\text{тр}}^{\text{T}} = 80 \cdot 0,2 = 16 \text{ л/с}$$

Количество стволов на тушение определяется по формуле:

$$N_{\text{ст}}^{\text{T}} = \frac{Q_{\text{тр}}^{\text{T}}}{q_{\text{ст}}}, \quad (21)$$

где $q_{\text{ст}}$ – производительность пожарного ствола, согласно [41] для РСКУ-50 принимаем 8 л/с.

Определим количество стволов на тушение по формуле (21):

$$N_{\text{ст}}^{\text{T}} = \frac{16}{8} = 2$$

На тушение пожара необходимо подать два ствола со стороны торговой галереи. На момент подачи ствола звеном 2.2 на ограничение распространения подан один ствол со стороны торговой галереи. Очевидно, что этих сил недостаточно для локализации.

1.4.9 Параметры пожара и действия по прибытии руководства

Руководство прибывает через 20 мин после прибытия ПСЧ-2. Из него формируется два сводных звена 9.1 и 9.2, которые начинают работу через две минуты после прибытия, время включения 14 ч 28 мин.

Звено 9.1 подает ствол на тушение пожара со стороны торговой галереи. Расстояние до места тушения составляет 50 м, время, затраченное на его

преодоление три минуты. Тогда работа звена на тушение, начинается через 31 мин после прибытия. Максимальное падение давления составило 19 кгс/см². Так как время подачи ствола совпадает с временем подачи ствола звеном 2.2 параметры пожара рассчитывать нет необходимости, они будут полностью соответствовать результатам расчетов, проведенных для звена 2.2.

По формуле (12), произведем расчет величины давления, при котором необходимо выходить звену 9.1:

$$P_{\text{к.вых}} = 19 + \frac{1}{2} \cdot 19 + 10 = 39 \text{ кгс/см}^2$$

Величина давления при срабатывании звукового сигнала в соответствии с [2] равна 55 кгс/см², принимаем ее в качестве давления, при котором звену необходимо выходить на свежий воздух.

Определим время работы у очага по формуле (13):

$$T_{\text{раб.}} = \frac{(261 - 55) \cdot 7}{40 \cdot 1,1} = 32 \text{ мин}$$

Время, затрачиваемое на обратный путь равно трем минутам. Расчет времени возвращения, произведем по формуле (14), с учетом времени включения 14 ч 28 мин:

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{28} + 3 + 3 + 32 = 15 \text{ ч } 06 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звена 9.1 к выполнению следующей боевой задачи в 15 ч 16 мин.

Звено 9.2 подает ствол на защиту антресоли. преодолевает расстояние к месту выполнения задачи равное 61 метру, расчетное давление у места составляет 261 кгс/см². Поскольку округление затраченного времени

производится в большую сторону расчетные значения будут соответствовать значениям, полученным для звена 9.1. Время выполнения следующей боевой задачи в 15 ч 16 мин.

1.4.10 Расчет сил и средств необходимых для локализации пожара

Количество стволов на тушение соответствует расчету, проведенному в пункте 1.4.8.

Со стороны торговой галереи на 31 мин подано два ствола на тушение пожара, что является достаточным для ограничения распространения.

Для соблюдения условия локализации необходимо подать стволы на защиту смежных помещений, ниже и выше расположенных этажей [46].

Стволы на защиту:

- один ствол звеном ГДЗС на защиту антресоли, которая находится над горящим помещением в районе наружной стены;
- один ствол звеном ГДЗС на защиту третьего этажа;
- два ствола звеньями ГДЗС на защиту помещений гипермаркета;
- один ствол звеном ГДЗС на защиту склада;
- один ствол звеном ГДЗС на защиту первого этажа.

Общее количество стволов определяется по формуле:

$$N_{\text{ст}}^{\text{общ}} = N_{\text{ст}}^{\text{т}} + N_{\text{ст}}^{\text{з}}, \quad (22)$$

где $N_{\text{ст}}^{\text{т}}$ – количество стволов поданных на тушение пожара;

$N_{\text{ст}}^{\text{з}}$ – количество стволов поданных на защиту.

$$N_{\text{ст}}^{\text{общ}} = 2 + 6 = 8$$

Количество магистральных линий для подачи восьми стволов равно трем. Данное количество принимаем исходя из того, что на тушение будет подано два ствола с расходом 8 л/с, а на защиту шесть стволов с расходом 4 л/с.

При таких значениях возможно подать от одной магистральной линии три ствола.

При расчете требуемого количества личного состава учтем трех человек работающих на разветвлениях.

Общее количество личного состава рассчитаем по формуле:

$$N_{\text{личн.сост}} = N_{\text{ст}}^T \cdot n_{\text{лс}} + N_{\text{ст}}^3 \cdot n_{\text{лс}} + N_{\text{разв}} + N_{\text{ПБ}} + N_{\text{КПП}} + N_{\text{св}} + N_{\text{резГДЗС}} \cdot n_{\text{лс}}, \quad (23)$$

где $n_{\text{лс}}$ – количество личного состава;

$N_{\text{разв}}$ – количество личного состава, работающего на разветвлениях;

$N_{\text{ПБ}}$ – количество личного состава, работающего постовыми на постах безопасности;

$N_{\text{КПП}}$ – количество личного состава, работающего на контрольно-пропускном пункте ГДЗС;

$N_{\text{св}}$ – количество личного состава, работающего связными;

$N_{\text{резГДЗС}}$ – количество резервных звеньев ГДЗС.

Рассчитаем требуемое количество личного состава по формуле (23):

$$N_{\text{личн.сост}} = 2 \cdot 3 + 6 \cdot 3 + 3 + 8 + 1 + 1 + 3 \cdot 3 = 46 \text{ человек}$$

Требуемое количество отделений основного назначения рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{отд}} = \frac{N_{\text{личн.сост}}}{n_{\text{БР}}}, \quad (24)$$

где $n_{\text{БР}}$ – численность боевого расчета, согласно [6] если в боевом расчете только автоцистерны принимается четыре человека.

Определим по формуле (24) требуемое количество отделений основного назначения:

$$N_{\text{отд}} = \frac{46}{4} = 12 \text{ отделений}$$

Согласно таблице 4 на пожар прибывает девять отделений основного назначения, что на три меньше требуемого. Общее количество прибывающего личного состава в соответствии с таблицей 3 составляет 54 человека. Для тушения пожара его достаточно, но десять человек руководства прибывает на машинах, не оснащенных рукавами и пожарно-техническим вооружением. Выезд к месту осуществляется только после подтверждения повышенного ранга пожара, что приводит к развитию пожара на большую площадь.

1.4.11 Определение времени локализации

Условие локализации будет соблюдаться при подаче двух стволов на тушение и шести стволов на защиту. С прибытием руководства подано два ствола на тушение и два ствола на защиту. Расчеты параметров работы звеньев на тушение и защиту по формулам (12) – (14), и выполняемые ими боевые задачи представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры работы звеньев до достижения момента локализации

Звено	Боевая задача	T _{вкл.} , ч:мин	S, м	P _{махпад} , кгс/см ²	P _{мин} , кгс/см ²	P _{к.вых} , кгс/см ²	T _{раб.} , мин	T _{возвр.} , ч:мин	T _{сл.БЗ} , ч:мин
3.1	Тушение пожара	14:12	98	32	248	58	30	14:50	15:00
2.2	Тушение и защита со стороны склада	14:27	84	25	255	55	31	15:06	15:16
9.1	Тушение пожара	14:28	50	19	261	55	32	15:06	15:16
9.2	Защита антресоли	14:28	61	19	261	55	32	15:06	15:16
1.2	Смена звена 3.1, тушение пожара	14:50	50	19	261	55	32	15:28	15:38
1.1	Защита третьего этажа	14:54	100	32	248	54	30	15:34	15:44
6.1	Защита помещений гипермаркета	14:55	60	19	261	55	32	15:33	15:43
4.1	Защита помещения гипермаркета	14:57	60	19	261	55	32	15:35	15:45

Продолжение таблицы 5

Звено	Боевая задача	T _{вкл.} , ч:мин	S, м	P _{тахпад} , кгс/см ²	P _{мин} , кгс/см ²	P _{к.вых.} , кгс/см ²	T _{раб.} , мин	T _{возвр.} , ч:мин	T _{сл.БЗ} , ч:мин
5.1	Защита первого этажа	15:02	60	19	261	55	32	15:40	15:50

Согласно данным таблицы 5, условия для возникновения момента локализации созданы в 15 ч 02 мин, через 62 мин после начала пожара. За это время замену баллонов произвели десять звеньев ГДЗС, учитывая проверку помещений второго этажа. Также из таблицы 5 видно, что в 15 ч 06 мин потребуется замена трех звеньев. Общее количество израсходованных баллонов на этот момент составит 39 штук. Согласно данным таблицы 4, на пожаре 50 резервных баллонов, с учетом использованных для дальнейших действий остается 11 штук. Учитывая одновременную работу восьми звеньев данного количества явно недостаточно.

По результатам проведенных расчетов необходимо на пожары в ТРЦ отправлять два АГДЗС. В настоящее время второй АГДЗС находится в постоянном резерве специализированной пожарно-спасательной части. При этом само подразделение может быть отправлено в любую точку Хабаровского края на ликвидацию произошедшей чрезвычайной ситуации. Можно смело считать, что в боевом расчете только один АГДЗС.

Выводы к разделу 1

В первом разделе магистерской диссертации было выделено, что обеспечение пожарной безопасности, входящей в комплексные системы является наиболее приоритетным направлением. Это обусловлено гораздо наихудшими последствиями при нарушении их эксплуатации и проектировании. В качестве объекта, эксплуатирующего такие системы, был выбран ТРЦ города Хабаровска «БРОСКО МОЛЛ», как самый большой по площади и соответственно рассчитанный на большее количество посетителей в отличии от других ТРЦ города. Кроме того, для понимания возможности проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожаров на таких объектах

местным пожарно-спасательным гарнизоном был проведен анализ достаточности сил и средств, пребывающих по повышенному рангу пожара, который будет использован в дальнейшем для оценки эффективности предлагаемых технических решений.

Основными выводами является:

- все ТРЦ города построены по индивидуальным проектам, различной площади, этажности и вместительности, оснащены интегрированными КСБ;
- системы пожарной безопасности ТРЦ «БРОССКО МОЛЛ» соответствуют нормативной документации и находятся в исправном состоянии, при этом они не обладают функционалом определения заторов на путях эвакуации и не позволяют определять местоположение пострадавших в случае сильного задымления;
- учет наличия специализированной ПСЧ в расписании выездов, как подразделения постоянно дислоцирующего на территории города вводит в некое заблуждение, так как оно может находиться в командировке в любом населенном пункте Хабаровского края;
- для обнаружения пострадавших требуется значительное количество времени, что приводит к пагубным последствиям, к таким как продолжительное время нахождения человека в непригодной для дыхания среде, увеличение площади пожара в следствии невозможности подачи стволов на ограничение его распространения;
- количество личного состава местного пожарно-спасательного гарнизона достаточно для проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожара только с учетом прибытия руководства.

2 Определение возможности расширения функционала систем пожарной безопасности ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»

2.1 Алгоритм распознавания лиц

Распознавание лиц – это программное средство, разработанное на основании собственных алгоритмов производителя направленное на идентификацию личности человека, может осуществляться при анализе фотографий, видео данных или в режиме реального времени.

Данная система непосредственно относится к подсистеме КСБ видеонаблюдения и контроля. Если принять во внимание наличие такого функционала, как подсчет людей в людских потоках возможно ее рассматривать как дополнение системы оповещения и управления эвакуацией, входящей в подсистему пожарной автоматики, которая в свою очередь имеет непосредственное отношение к системам пожарной безопасности.

Этапы распознавания приведены на рисунке 13.



Рисунок 13 – Этапы распознавания лиц

На первом этапе алгоритм анализирует поступивший стоп-кадр видеоизображения и определяет где на нем находятся изображения лиц. Определяет координаты верхней, нижней, левой и правой границ лица, и передает полученные данные на следующий этап.

На втором этапе определяется положение головы и устраняются визуальные искажения, например, лицо поворачивается в анфас. Данная процедура показана на рисунке 14. Для этого используется пять контрольных точек в области глаз, уголках рта, в области носа.

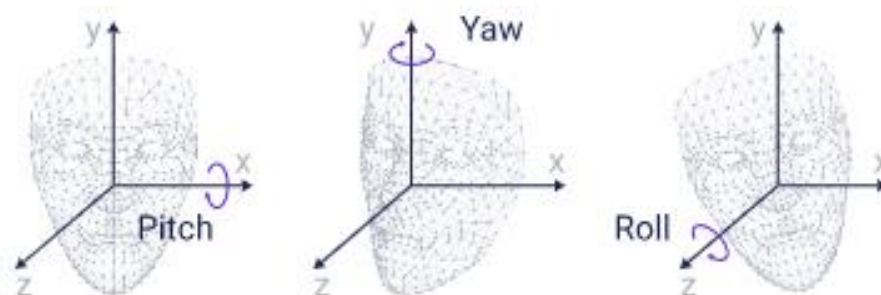


Рисунок 14 – Устранение искажения положения головы

На третьем этапе по полученным особенностям лица формируется индивидуальный биометрический шаблон. В машинном понимании – это индивидуальный набор чисел, который потом и будет анализироваться с существующей базой данных.

На четвертом этапе происходит сопоставление полученных числовых значений с базой данных и выдача результата.

2.2 Анализ существующих систем распознавания лиц и выбор наиболее подходящей

В настоящее время на рынке есть множество систем распознавания лиц. В качестве примера рассмотрим четыре системы, приведенные в таблице 6.

Таблица 6 – Системы распознавания лиц и время поиска в базах данных

Количество лиц в базе данных	Время поиска лиц в базе данных, миллисекунд			
	Ntechlab	Yitu	3DiVi	Innovatrics
3000	0,4	0,5	0,7	3,4
10000	0,5	1,0	1,7	10,0
300000	0,59	2,5	4,0	27,0

Одним из важнейших показателей является время поиска в базе данных [4]. Из таблицы 6 видно, что наилучшими временными показателями обладают системы отечественной разработки Ntechlab [15] и 3DiVi [11], а также система разработки КНР Yitu [28]. Худшим показателем обладает система европейской разработки Innovatrics [8].

Система распознавания лиц Innovatrics ориентирована на европейский союз и в РФ не поставляется [8]. В связи с этим рассматривать ее в качестве системы распознавания лиц на ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» не имеет смысла.

Из оставшихся трех разработчиков явным лидером по времени поиска лиц в базе данных является отечественный разработчик Ntechlab. Кроме того, точность его алгоритма распознавания среди рассматриваемых комплексов самая высокая и составляет 98 процентов. Еще одним немаловажным плюсом является возможность детектирования и распознавания по силуэту. Алгоритм NtechLab детектирует силуэт и путь человека, проходящего мимо камеры. Главные задачи, которые эффективно решает распознавание по силуэту – мгновенный и точный подсчет огромного количества людей в видеопотоке, а также межкамерный трекинг силуэтов. К применению принимаем программный продукт FindFace Security [15].

2.2.1 Системные требования FindFace Security

В связи с тем, что часть видеокамер, установленных на объекте имеет разрешение более 120x720 пикселей дополнительно необходимо установить пакет с ускорением на GPU findface-video-worker-gpu.

Необходимые системные требования для работы FindFace Security приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Системные требования для работы FindFace Security

Параметр	Требования	
	минимальные	рекомендуемые
Центральный процессор	Intel Core i5 CPU с 4 физическими ядрами 3 ГГц, поддержка AVX2	Intel Xeon Silver/Gold с 6 физическими ядрами
Графический процессор	Nvidia Geforce® GTX 1060 6 Гб	Nvidia Geforce® GTX 1080Ti с 11 Гб RAM
Оперативная память, Гб	10	16
Жесткий диск, Гб	16	16

Для организации системы распознавания лиц потребуется приобретение одного ПК с характеристиками не ниже указанных в таблице 7.

2.2.2 Требования к камерам видеонаблюдения, система видеонаблюдения ТРЦ «БРОСКО-МОЛЛ»

К установке и характеристикам камер видеонаблюдения в системе распознавания лиц на основе FindFace Security предъявляются следующие основные требования:

- для корректной детекции в видеопотоке камера должна быть установлена, чтобы в ее поле зрения обязательно появлялось лицо каждого человека, входящего в зону наблюдения;
- угол вертикального наклона не должен превышать 15 градусов (рисунок 15);
- угол горизонтального отклонения не должен превышать 30 градусов (рисунок 16);
- минимальная плотность пикселей для идентификации – 500 пикселей/м;
- фокусное расстояние объектива должно выбираться таким образом, чтобы при заданном расстоянии до объектов съемки обеспечивалась необходимая плотность пикселей;
- экспозиция должна быть настроена таким образом, чтобы лица были резкими, не смазанными и равномерно освещенными;

- в зависимости от условий освещения (яркая засветка, слишком яркое или слишком тусклое освещение) рекомендуется использовать камеры с аппаратным ускорением или другими технологиями, обеспечивающими компенсацию встречной засветки или слабой освещенности.

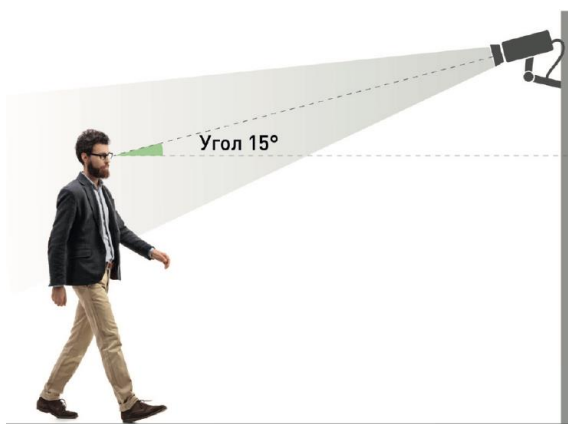


Рисунок 15 – Вертикальный угол наклона камеры

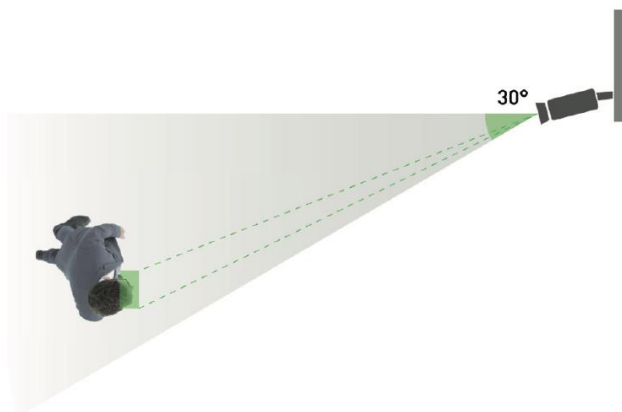


Рисунок 16 – Угол горизонтального отклонения камеры

В ТРЦ «БРОСКО-МОЛЛ» организована система охранного IP видеонаблюдения:

- системы видеонаблюдения гипермаркета;
- системы видеонаблюдения здания ТРЦ.

Системы видеонаблюдения обеспечивает:

- централизованное наблюдение с постов охраны за фасадами, автостоянкой, центральными входами, внутренними помещениями;
- вывод видеоинформации на мониторы постов охраны;
- архивирование видеоинформации на жесткие диски;
- оперативный доступ к архивным данным.

Установлены видеокамеры фирмы «AXIS» [30], [31] представлены на рисунке 17. Характеристики приведены в таблице 8. Для автоматической обработки видеоданных, получаемых от видеокамер, осуществления хранения архива видеозаписей с последующим к нему доступом, используются видеосерверы VIDEOMAX.

Таблица 8 – Характеристики видеокамер, установленных в ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»

Видеокамера	Разрешение, пикс.	Угол обзора, град.	
		горизонтальный	вертикальный
Axis M3203 (купольная)	800x600	66-18	48-14
Axis Q1604-E (стандартная)	1280x960	80-34	48-14

Данная модель видеосервера имеет 19 дюймовое конструктивное исполнение. Емкость архива составляет 114 ТБ, что обеспечивает хранение видеоинформации в максимальном разрешении при скорости записи не менее 25 к/с в течение не менее 14 дней.



Axis M3203



Axis Q1604-E

Рисунок 17 – Видеокамеры, установленные в ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»

Для оперативного мониторинга и просмотра видеоархива на постах охраны устроены АРМ «Удаленное рабочее место» (оператор видеонаблюдения).

Исходя из рассмотренных требований к камерам видеонаблюдения, а также анализа существующей системы видеонаблюдения замена установленных камер в ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» не требуется.

2.3 Подбор тепловизионных камер

Наиболее рациональным с экономической точки зрения выглядит применение тепловизионных камер на поворотных кронштейнах, расположенных внутри помещения. Тепловизионная камера для стационарной установки компании ПЕРГАМ серии ТИТАН [42] представлена на рисунке 18.

Характеристики камеры ТИТАН-690:

- дальность обнаружения человека – 140 м;
- дальность распознавания человека – 40 м.



Рисунок 18 – Тепловизионная камера ТИТАН-690

Использование стационарных тепловизионных камер предполагалось в гораздо меньшем количестве относительно обычных. Ввиду того что на каждом этаже здания, кроме первого, имеется множество светопрозрачных конструкций (рисунок 19). Применение позволило бы охране объекта видеть конкретное место возникновения пожара, его масштаб и принимать решение о возможности его ликвидации имеющимися средствами пожаротушения. Кроме того, появляется возможность обнаружения пострадавших в случае сильного задымления, и сообщения о них прибывающим пожарно-спасательным подразделениям.



Рисунок 19 – Пример части торговой галереи ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ»

Но несмотря на высокие характеристики таких камер по дальности обнаружения и распознавания, как раз светопрозрачные конструкции являются непреодолимой преградой для этих устройств. Стекло является непреодолимой преградой для этих устройств. Стекло является непреодолимой преградой для этих устройств.

поверхности, при наведении на них создают эффект зеркала [40]. Результатом является то, что на мониторе видно отражение, а не реальную картину за стеклом. Данный эффект продемонстрирован на рисунке 20, слева реальная картина за стеклом, справа то, что видно на экране тепловизора.



Рисунок 20 – Результат съемки при наведении тепловизора на стекло

В результате потребуется установка тепловизоров в каждом торговом помещении и торговых галереях, что приведет к значительному удорожанию системы видеонаблюдения. При этом применение звеньями ГДЗС переносных тепловизоров остается актуальным.

В настоящее время на вооружении в местном пожарно-спасательном гарнизоне города Хабаровска имеется один тепловизор марки «ПИТОН» ТП-001. Практика применения данного тепловизора позволяет утверждать, что его возможности очень ограничены. Качество съемки неудовлетворительное, что практически не дает преимущества пожарному при поиске людей в помещении с повышенной температурой. Качество съемки представлено на рисунках 21 и 22. Кроме этого нет никаких технических характеристик, относящихся к качеству съемки.

Съемка с расстояния 20 метров не позволяет определить объект от которого исходит повышенная температура, что доказывает использование

более дешёвых материалов при производстве тепловизора с низким разрешением матрицы.



Рисунок 21 – Качество съёмки тепловизором «ПИТОН» с расстояния 10 метров



Рисунок 22 – Качество съёмки тепловизором «ПИТОН» с расстояния 15 метров

Для уменьшения времени обнаружения пострадавших необходимо применять тепловизоры с лучшими характеристиками и оснащение ими производить исходя из показателя один прибор на каждое звено.

Рассматривая отечественный рынок подобного оборудования к оснащению принимаем тепловизоры Pergam F300 [25]. Прибор выполнен в водонепроницаемом противоударном корпусе – степень защиты IP67. Характеристики приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики тепловизора Pergam F300

Наименование	Значение
Разрешение матрицы	384x288
Дисплей	Четырех дюймовый, ЖК
Спектральный диапазон	7,5-14 мкм
Объектив	44,2°x33,9°
Частота кадров	25 Гц
Диапазон измерений	От минус 40°С до плюс 2000°С
Экран	Высококонтрастный четырех дюймовый дисплей с разрешением 320x240
Продолжительность записи	Непрерывно в течении четырех часов
Вес	1,2 кг
Габариты	300x131x128
Материал	Термостойкий силикон

Главным параметром является размер матрицы и частота обновления кадров. Параметр 25 Гц позволяет уменьшить эффект запаздывания и как следствие дает возможность наблюдения динамических сцен. Устанавливаемая карта памяти максимальным объемом 32 Гб позволяет сохранять до четырех часов видео и до 10000 изображений. Кроме этого есть дополнительная возможность организовать беспроводной интерфейс беспроводной связи в формате 4G, что позволит наблюдать информацию в режиме реального времени на удаленно организованном рабочем месте в районе штаба пожаротушения. Внешний вид представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 – Тепловизор Pergam F300

Зная углы обзора и разрешение тепловизионной матрицы возможно определить дальность обнаружения. Согласно критерию Джонсона, существует три параметра достаточных для решения задач:

- обнаружение – 2 пикселя,
- распознавание – 8 пикселей,
- идентификация – 16 пикселей [40].

Обнаружение – получение информации о наличии некоего объекта. Распознавание – возможность понимания какой это объект. Идентификация – возможность определение конкретного объекта в окружении ему подобных.

Расчет дальности обнаружения производится по формуле:

$$L = \frac{R}{C} \cdot \operatorname{Ctg} \frac{H}{X}, \quad (25)$$

где R – длина или ширина объекта, м;

C – количество пикселей, 2, 8 или 16;

H – угол обзора, по горизонтали или вертикали, град;

X – разрешение тепловизионной матрицы, горизонтальное или вертикальное.

Результаты расчетов, проведенные по формуле (25) сведены в таблицу 10. Длина и ширина объекта принята равной 1,75 метра, данный параметр соответствует росту человека, представленному на рисунке 22.

Таблица 10 – Результаты расчетов дальности обнаружения

Задача	Ориентация	Количество пикселей	Дальность обнаружения, м
Обнаружение	Горизонтальная	2	435
Обнаружение	Вертикальная	2	424
Распознавание	Горизонтальная	8	108
Распознавание	Вертикальная	8	106
Идентификация	Горизонтальная	16	54
Идентификация	Вертикальная	16	53

Полученные значения говорят о том, что по характеристикам тепловизор Pergam F300 значительно лучше имеющегося на вооружении. Постановка в боевой расчет рассмотренной модели в разы повысит способность звеньев ГДЗС по поиску пострадавших.

2.4 Реализация системы распознавания лиц в ТРЦ «БРОСО МОЛЛ»

КСБ ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» являются интегрированными под общим управлением программного комплекса Орион Про. Согласно архитектуры реализации данного решения верхним уровнем является диспетчеризация и видеоконтроль, в который и входит система видеонаблюдения необходимая для реализации функции распознавания по силуэту.

В связи с тем, что система видеонаблюдения выполнена на программном обеспечении стороннего производителя ее взаимодействие с сервером Орион Про происходит через персональный компьютер, на который поступает изображение с камер [3]. Структурная схема КСБ включающая элементы управления пожарной безопасностью и охранной сигнализации представлена на рисунке 24. Для интеграции в нее такого функционала системы

распознавания лиц, как распознавание по силуэту достаточно установить на компьютер с системой видеонаблюдения необходимое программное обеспечение и произвести его настройку.

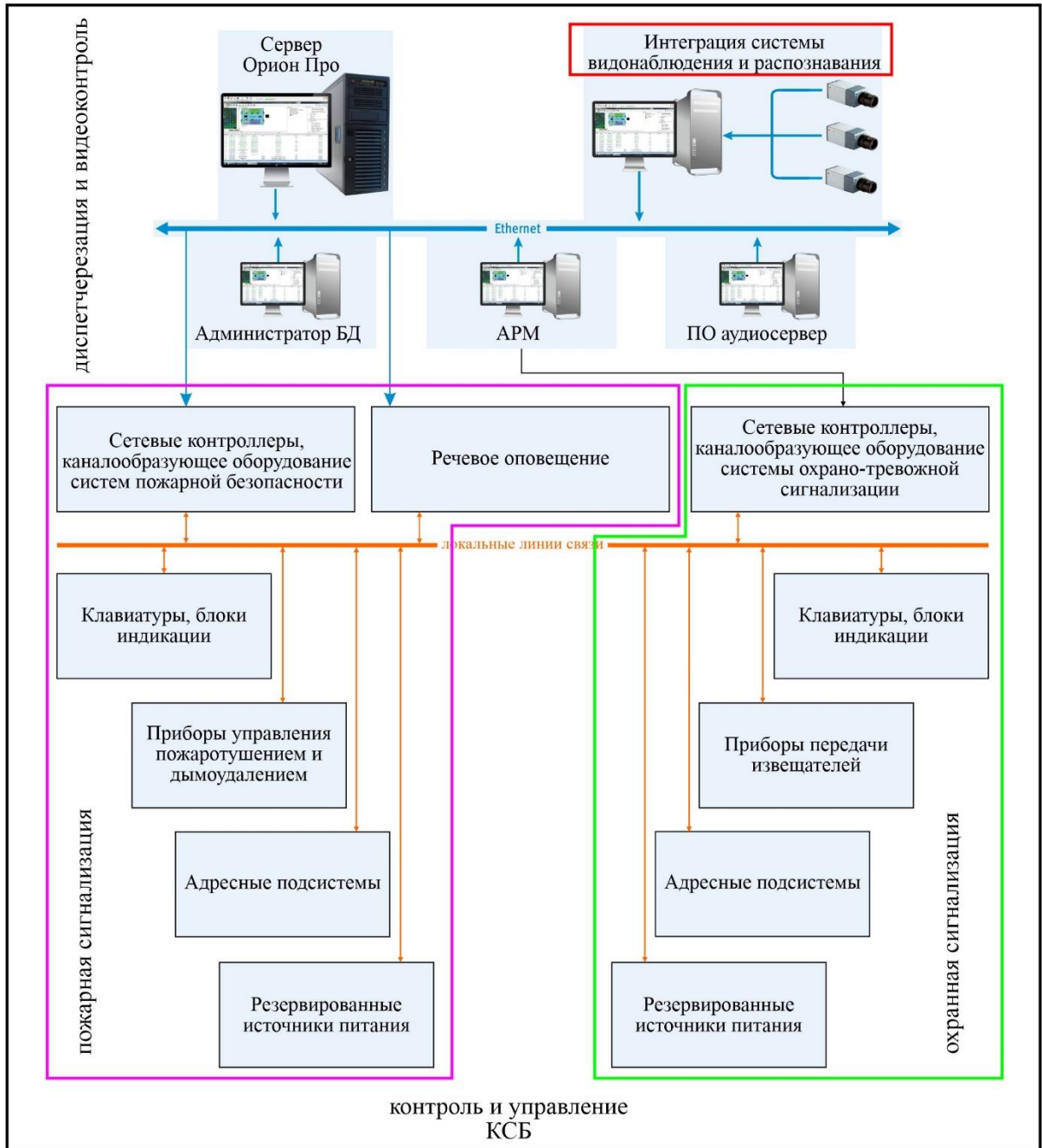


Рисунок 24 – Уровень диспетчеризации и контроля Орион Про

Применяя встроенную функцию по межкамерному трекингу возможно организовать подсчет посетителей, перемещающихся из одной зоны в другую,

их количество по этажам, а также в целом по зданию. Поскольку производятся только расчеты, без определения конкретной личности посетителя, законодательство РФ не нарушается. Рассмотрим реализацию системы распознавания лиц на примере второго этажа.

Всего на втором этаже 47 помещений свободного доступа, оборудованных видеокамерами. Расчетное количество людей составляет 3972 человека, из них 3730 – посетители, 242 – персонал. Количество эвакуационных выходов для посетителей равно девяти. Программный комплекс FindFace Security производит подсчет людей с выводом информации на экран автоматизированных рабочих мест, расположенных на постах охраны. Кроме этого функционал FindFace Security позволяет определять возраст с точностью 95 % [15]. Возможность определения возраста может использоваться для расчета заторов на путях эвакуации. Для этого потребуется обращение к производителю с целью дополнения программного комплекса интересующим нас функционалом.

Для автоматизации наблюдения за процессом эвакуации введем понятие максимальной плотности людского потока (безразмерная величина), значение которой принимаем равной 0,92, в соответствии с [27]. При проведении расчета, полученный результат равный или превышающий это значение будет восприниматься, как затор на путях эвакуации. При этом подается сигнал тревоги, и соответствующая зона выделяется цветом, для простоты ориентации наблюдателя.

Расчеты фактической плотности людского потока производятся по формуле:

$$D_{\phi} = \frac{\sum f}{\delta \cdot l}, \quad (26)$$

где f – площадь горизонтальной проекции одного человека, для ребенка – 0,056 м², для подростка – 0,09 м², для взрослого в летней одежде – 0,1 м², в уличной демисезонной – 0,113 м², уличной зимней –

0,125 м²;

δ – ширина людского потока, м;

l – длина людского потока, м.

Произведение в знаменателе формулы (26), можно назвать площадью занимаемую людским потоком. Для ее определения назначим 11 зон, расположенных непосредственно у эвакуационных выходов (в лестничную клетку или на улицу). Размеры зон представлены в таблице 11, а их расположение на рисунке 25.

Таблица 11 – Зоны эвакуации для расчетов фактической плотности потока

Зона	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²
Зона 1	9,0	2,5	22,5
Зона 2	11,0	2,5	27,5
Зона 3	16,5	2,5	41,3
Зона 4	11,5	2,5	28,8
Зона 5	20,0	3,0	60,0
Зона 6	34,5	3,0	103,5
Зона 7	15,0	3,0	45,0
Зона 8	20,0	3,0	60,0
Зона 9	12,5	2,5	31,3
Зона 10	4,5	2,5	11,3
Зона 11	2,5	2,0	5,0

Имея в базе данных все необходимые значения для расчета происходит анализ с установленным интервалом времени, например, каждые 30 секунд.

В качестве примера произведем расчет плотности потока для зоны 1 по формуле (26). Исходными данными примем:

- количество взрослых в зимней одежде 150 человек;
- количество подростков 20 человек;
- количество детей 15 человек.

Расчет фактической плотности потока по формуле (26):

$$D_{\phi} = \frac{150 \cdot 0,125 + 20 \cdot 0,09 + 15 \cdot 0,056}{22,5} = 0,95$$

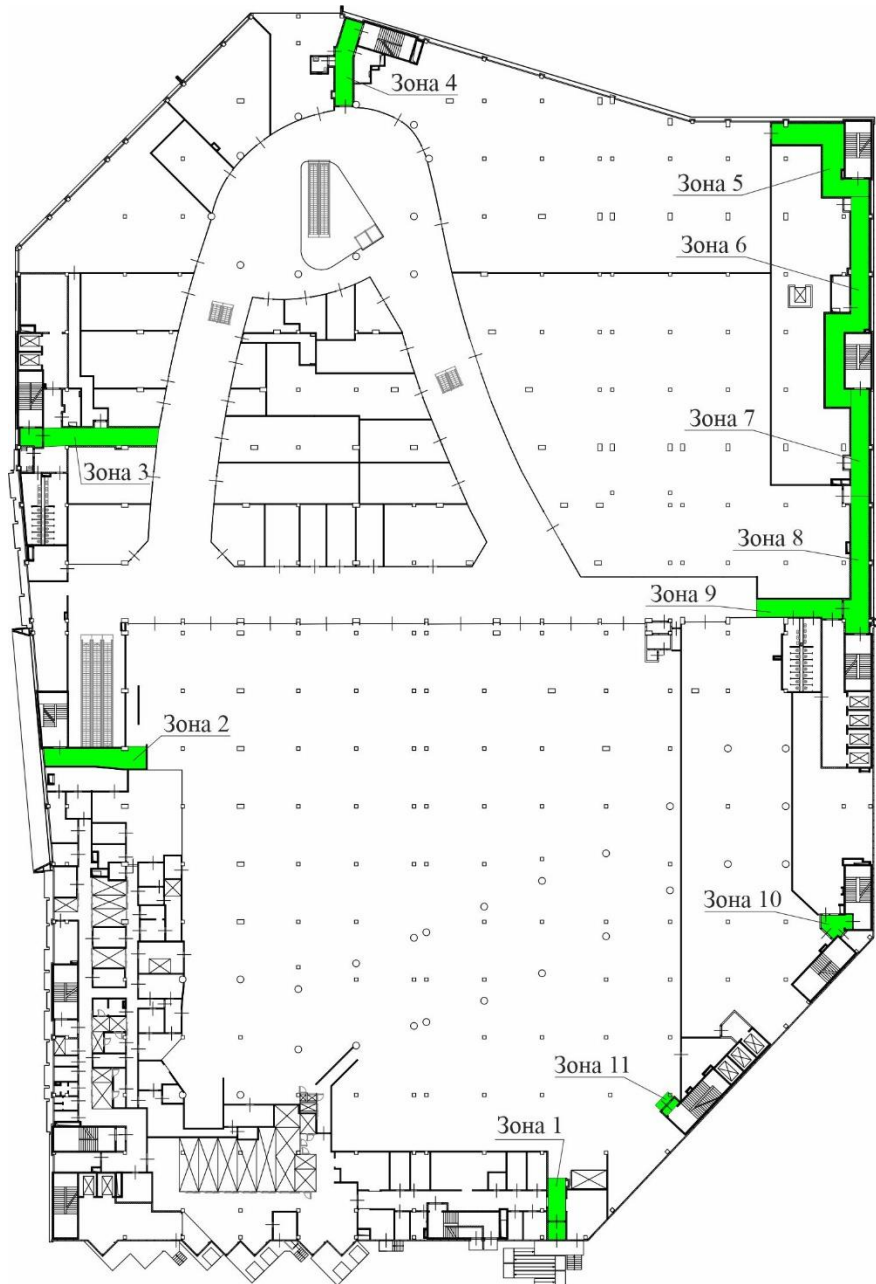


Рисунок 25 – Зоны наблюдения процесса эвакуации

В результате расчета программа определяет, что фактическая плотность потока превышает максимальную и оповещает об этом оператора. Оператор направляет к месту возникновения затора персонал, находящийся на этаже для

распределения людей к ближайшему менее загруженному эвакуационному выходу.

Еще одной полезной функцией программного комплекса является подсчет людей в том или ином помещении. Зная, что из конкретного помещения вышли не все люди, и не имея возможности самостоятельной проверки, данная информация передается прибывающим пожарно-спасательным подразделениям. Которые могут определять порядок спасения не эвакуировавшихся людей.

Выводы к разделу 2

Во втором разделе магистерской диссертации были рассмотрены технические решения для возможности улучшения процесса эвакуации, представлена схема интеграции системы распознавания лиц в КСБ объекта. Проанализированы программные комплексы распознавания лиц, и возможность применения стационарных тепловизионных камер. Дополнительно рассмотрены возможности стоящего на вооружении местного пожарно-спасательного гарнизона переносного тепловизора «ПИТОН» ТП-001. Рассмотрен переносной тепловизор Pergam F300, произведен расчет дальности обнаружения, распознавания и идентификации.

Основными выводами является:

- в настоящее время одним из лидеров в распознавании лиц является компания из РФ Ntechlab выпускающая программный комплекс FindFace Security, имеющий функцию распознавания по силуэту, что позволяет реализовать межкамерный трекинг силуэтов;
- организация контроля за процессом эвакуации возможна в автоматическом режиме. Функционал программного комплекса FindFace Security позволяет с точностью 95 % определять возраст человека, что несомненно необходимо при расчете плотности людского потока. Для этого не требуется создание базы данных и никакой личной информации, что не нарушает законодательства РФ.

Данная возможность реализована посредством функции распознавания по силуэту;

- применение стационарных тепловизионных камер нецелесообразно ввиду большого количества стеклянных конструкций, для получения приемлемого результата потребуется установка большого количества устройств, что приведет к значительным материальным затратам;
- переносной тепловизор «ПИТОН» ТП-001, обладает низкими техническими характеристиками, максимальная дальность идентификации составляет 15 м, что приводит к необходимости звеньям ГДЗС сближаться с наблюдаемым объектом на это расстояние;
- предлагаемый переносной тепловизор Pergam F300 обладает значительно лучшими характеристиками, дальность идентификации 53-54 м, также есть возможность записи видео и сохранение снимков, опционально можно организовать передачу видеосигнала в формате 4G.

3 Внедрение системы распознавания лиц в КСБ и ПБ

3.1 Методика и параметры проведения эксперимента по определению влияния системы распознавания лиц на проведение спасательных работ

3.1.1 Обоснование проведения эксперимента

В связи с отсутствием возможности протестировать работу системы распознавания лиц на практике, а также провести полномасштабную эвакуацию ТРЦ с определением фактических временных отрезков процесса, принято решение о проведении эксперимента по реализации спасательных работ. Проводимые работы учитывают нахождение на объекте рассматриваемой нами системы, а также оснащенность звеньев ГДЗС переносными тепловизорами. Кроме того, авторами работ [6] и [45] при определении скоростей передвижения звеньев не применялись тепловизоры. Взаимосвязь КСБ объекта и прибывающих пожарно-спасательных подразделений очевидна. Например, она видна при использовании систем дымоудаления или тушения самими подразделениями при ликвидации пожара. При помощи систем дымоудаления возможно регулировать газообмен, а применяя внутреннее пожаротушение подавать дополнительные стволы на тушение. Система распознавания лиц может быть использована при определении возможного местонахождения людей, а значит проведение эксперимента обосновано.

По результатам проведенной оценки возможности проведения спасательных работ в подразде 1.3, были получены временные отрезки, затраченные на нахождение и эвакуацию пострадавших. Всего по замыслу из помещений не вышли восемь человек, шесть человек с третьего этажа и два человека со второго. Расчетное время на их эвакуацию с момента возникновения пожара составило:

- третий этаж (эвакуированы звеньями 2.1 и 2.2) – 25 минут;

- второй этаж (эвакуирован звеном 1.2) – 27 минут;
- второй этаж (эвакуирован звеном 6.1) – 45 минут.

Время эвакуации звеном 6.1 значительно отличается от остальных. Это обусловлено тем, что необходимо проверять большие по площади помещения, не представляя в каком именно месте может находиться пострадавшие и какое их количество. С целью подтверждения целесообразности предлагаемых технических решений направленных на обеспечение прибывающих пожарных подразделений необходимой информацией, проведем практический эксперимент, который подтвердит или опровергнет правильность принятых решений.

При проведении практического эксперимента принимаем условия полностью соответствующие принятым при проведенных ранее расчетах.

3.1.2 Методология и порядок проведения эксперимента

Практический эксперимент проводим в соответствии с планом профессиональной подготовки личного состава, в части порядка проведения ночного решения пожарно-тактической задачи. Особенностью является то, что решение пожарно-тактической задачи проводится только одним подразделением. Поскольку количество подразделений в нашем случае ограничено и не соответствует прибывающему по повышенному рангу пожара, проверять будем только время эвакуации пострадавших. Время эвакуации будет рассматриваться при условии применения тепловизора и без него, но с учетом того, что пожарные подразделения знают примерное место нахождения пострадавших. Поскольку отсутствует возможность натурной проверки применения тепловизора Pergam F300, влияние его применения оценим исходя из характеристик устройства.

Сроки проведения эксперимента шесть дней с 10.03.2022 г. по 16.03.2022 г., ежедневно в период времени с 01:00 до 03:00. Время проведения обусловлено режимом работы ТРЦ. Привлекаемые силы и средства приведены в таблице 12. Кроме личного состава ПСЧ-2 к месту проведения занятий прибывает начальник части или его заместитель.

Таблица 12 – Привлекаемые силы и средства для проведения эксперимента

Подразделение	Техника	Личный состав ГДЗС, чел.	Резервные баллоны, шт.
ПСЧ-2	АЦ-8,0-70(43118)	4	4
	АЦ-6,0-40(5557)	4	4
ПСЧ-35	АГ-16(3205)	4	14
СПТ	АШ-7(2705)	3	-
Итого	АЦ-2 АГ-1 АШ-1	15	22

В предполагаемых местах нахождения, пострадавших на втором этаже размещаются два человека ПСЧ-35, на третьем этаже шесть человек из охраны и обслуживающего персонала объекта. В соседних с ними помещениях располагается наблюдатель, который фиксирует время захода звена в проверяемое помещение и время обнаружения пострадавшего. Время выхода звена на свежий воздух фиксирует наблюдатель на улице. Кроме того, наблюдатели следуют с каждым звеном, для фиксации маршрута передвижения. При выполнении одной и той же задачи с применением тепловизора и без него производится смена звеньев. Измерение пройденного расстояния проводится по плану этажа, в соответствии с маршрутом движения. Порядок проведения представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Порядок проведения эксперимента

Этап	Исполнители	Задачи и содержание работ	Сроки выполнения	Планируемые результаты	Критерии эффективности этапа
I	Организаторы занятия и эксперимента	1. Организация 2. Подготовительные мероприятия 3. Постановка задач	09.03	1.Провести хронометраж событий 2. Оценка действий 3. Выявление проблемных вопросов	1. Проведено занятие 2.Произведен отбор данных 3. Сделаны выводы
II	Центральный пункт пожарной связи	1. Высылка сил и средств	10.03-13.03	1.Провести хронометраж событий	1. Проведено занятие 2.Произведен отбор данных

Продолжение таблицы 13

Этап	Исполнители	Задачи и содержание работ	Сроки выполнения	Планируемые результаты	Критерии эффективности этапа
II	Реагирующие подразделения	1. Выезд и следования 2. Выполнение поставленных задач	10.03-13.03	2. Оценка действий 3. Выявление проблемных вопросов	3. Сделаны выводы
	Наблюдатели	1.Руководство личным составом 2. Фиксирование времени выполняемых элементов			
III	Организатор эксперимента	1. Анализ полученных результатов 2. Проведение необходимых расчетов	14.03-16.03	1. Проведенные расчеты 2. Проанализированы результаты эксперимента	1. Подтверждены или опровергнуты заключения, полученные расчетным путем в подразделе 1.3 2. Подтверждены или опровергнуты использование предлагаемых технических решений

По результатам полученных данных необходимо провести сопоставление экспериментальных значений с рассчитанными в первом разделе. Проанализировать, как повлияет на время эвакуации пострадавших применение тепловизора Pergam F300. Проверить, как изменится обстановка расчетного пожара, и на какой минуте будут достигнуты условия его локализации. Объем полученных данных будет составлять время на выполнение однотипных задач четырьмя разными дежурными караулами.

3.2 Анализ полученных результатов эксперимента и влияние предлагаемых решений на проведение АСР и тушение пожара

Результаты эксперимента в виде временных отрезков представлены в таблице 14. Наименование звеньев приняты условно по месту и дате производства спасательных работ. Схема движения звеньев на третьем и втором этажах представлена на рисунках Б.1 и Б.2.

Таблица 14 – Результаты эксперимента

Дата проведения	Номер звена	Наличие тепловизора	Длина пути до пострадавшего, м	Длина пути с пострадавшим, м	Время до пострадавшего, мин	Время выхода с пострадавшим, мин
10.03.2022	1.1	Нет	74,0	74,0	1,7	2,4
	1.2	Нет	74,0	74,0	1,8	2,5
	1.3	Нет	150,3	94,5	2,7	2,3
	1,3	Да	102,3	94,5	2,1	2,7
	1.4	Нет	159,8	88,3	4,3	3,2
	1.4	Да	163,8	88,3	2,8	2,2
11.03.2022	2.1	Нет	74,0	74,0	1,6	2,3
	2.2	Нет	74,0	74,0	1,7	2,6
	2.3	Нет	134,8	94,5	2,8	2,5
	2.3	Да	115,8	94,5	1,8	2,3
	2.4	Нет	179,3	88,3	3,9	1,7
	2.4	Да	163,8	88,3	3,0	2,1
12.03.2022	3.1	Нет	74,0	74,0	1,6	2,5
	3.2	Нет	74,0	74,0	1,7	2,7
	3.3	Нет	142,8	94,5	3,2	3,7
	3.3	Да	115,8	94,5	2,0	2,6
	3.4	Нет	159,8	88,3	3,2	2,5
	3.4	Да	163,8	88,3	2,9	2,4
13.03.2022	4.1	Нет	74,0	74,0	1,6	2,3
	4.2	Нет	74,0	74,0	1,8	2,4
	4.3	Нет	134,8	94,5	3,1	3,6
	4.3	Да	112,8	94,5	2,1	2,4
	4.4	Нет	159,8	88,3	3,7	2,1
	4.4	Да	169,8	88,3	2,9	1,9

Из результатов, представленных в таблице 14 найдем среднеарифметические значения для схожих работ, и определим скорость движения звеньев.

Среднеарифметические значения определяются по формулам:

$$t_{\text{ср}i} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (27)$$

$$l_{\text{ср}i} = \frac{\sum_{i=1}^N l_i}{N}, \quad (28)$$

где t_i – время, затраченное звеном ГДЗС на однотипный вид работ;

l_i – длина пути пройденного звеном ГДЗС при однотипном виде работ;
 N – количество однотипных работ.

Средняя скорость движения звена определяется по формуле:

$$U_{\text{cp}} = \frac{l_{\text{cpi}}}{t_{\text{cpi}}} \quad (29)$$

Результаты расчетов, проведенных по формулам (27), (28) и (29) представлены в таблице 15.

Отличие скоростей передвижения полученных в результате эксперимента и принятых при расчете в подразделе 1.4 представлены на рисунках 26 и 27.

Таблица 15 – Результаты расчетов среднеарифметических и скорости движения

Тип работ	N , шт	Σt_i , мин	t_{cpi} , мин	Σl_i , м	l_{cpi} , м	U_{cp} , м/мин
Следование к эвакуируемым на третий этаж	8	13,5	1,7	592,0	74,0	43,5
Следование с эвакуируемыми с третьего этажа	8	19,7	2,5	592,0	74,0	29,6
Следование к пострадавшему на втором этаже звеньями 1.3, 2.3, 3.3, 4.3 без тепловизора	4	11,8	3,0	562,7	140,7	46,9
Следование к пострадавшему на втором этаже звеньями 1.3, 2.3, 3.3, 4.3 с тепловизором	4	8,0	2,0	446,7	111,7	55,9
Следование к пострадавшему на втором этаже звеньями 1.4, 2.4, 3.4, 4.4 без тепловизора	4	15,1	3,8	658,7	164,7	43,3
Следование к пострадавшему на втором этаже звеньями 1.4, 2.4, 3.4, 4.4 с тепловизором	4	11,6	2,9	661,2	165,3	56,0
Следование с пострадавшим со второго этажа звеньями 1.3, 2.3, 3.3, 4.3	8	22,1	2,8	756,0	94,5	33,8
Следование с пострадавшим со второго этажа звеньями 1.4, 2.4, 3.4, 4.4	8	18,1	2,3	706,4	88,3	38,4

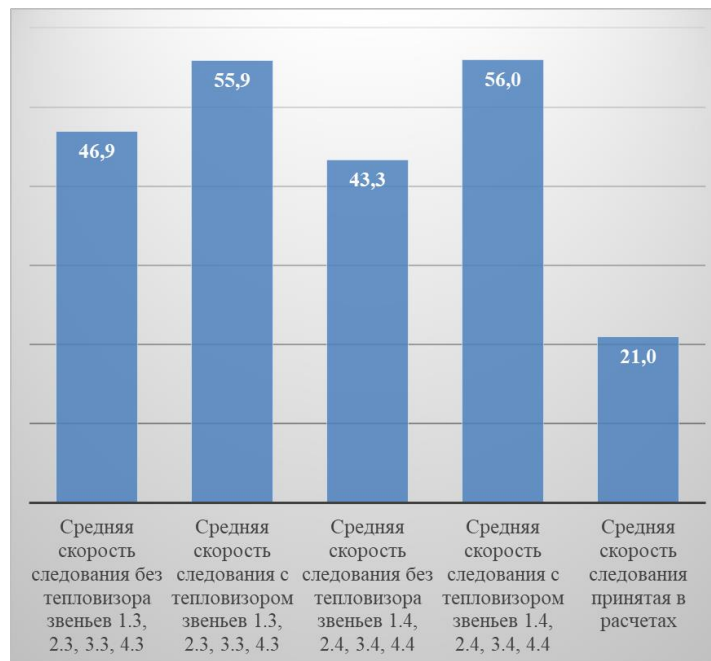


Рисунок 26 – Отличия скоростей следования звеньев ГДЗС без пострадавшего

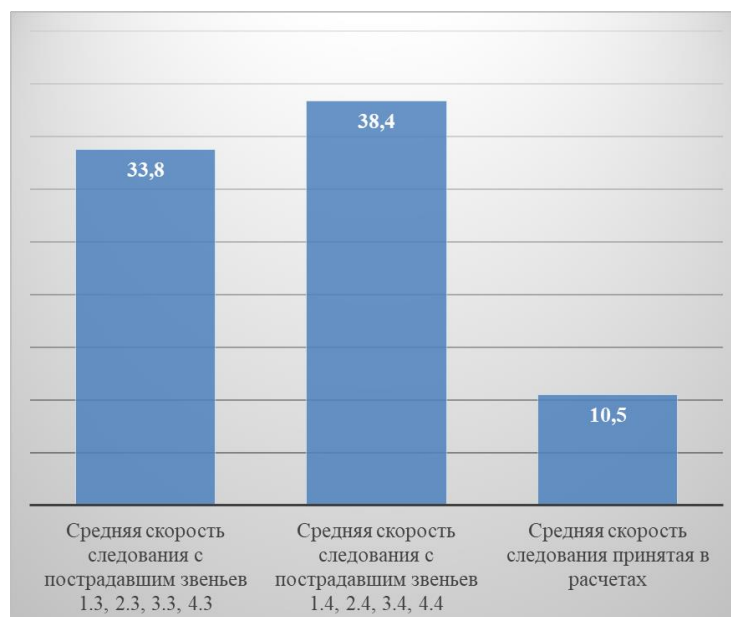


Рисунок 27 – Отличия скоростей следования звеньев ГДЗС с пострадавшим

Проведенные расчеты показывают, что скорость передвижения с тепловизором в 1,2-1,3 раза превышает скорость передвижения без него. Увеличение скорости происходит из-за отсутствия необходимости детального

обследования помещений. Скорость следования звеньев ГДЗС с эвакуируемыми в спасательных капюшонах с третьего этажа ниже чем у звеньев выносивших пострадавших в 1,1-1,3 раза. Это обусловлено необходимостью постоянного контроля за эвакуируемыми.

Применение тепловизора Pergam F300, при расположении пострадавших в соответствии с экспериментом не окажет значительного влияния на уменьшение времени поиска пострадавших. Если же местонахождение пострадавших будет находится на больших расстояниях его применение окажет существенное влияние. Также уменьшится время на проверку помещений в следствии его более лучших характеристик.

Полученные значения скоростей отличаются от принятых в расчетах, а также от скоростей у авторов работ [6] и [45]. В связи с этим необходимо произвести перерасчет параметров пожара исходя из полученных значений с применением тепловизора.

3.3 Анализ и оценка эффективности предлагаемых решений при их внедрении в системы ПБ КСБ

В связи с отсутствием требований пожарной безопасности в нормативной документации по некоторым моментам при проектировании ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» были разработаны специальные технические условия. Одним из пунктов которых является обязательное проведение расчетов пожарного риска. Изучение расчета пожарных рисков, предоставленное собственником объекта, показывает, что максимальное время эвакуации со второго этажа составляет 10 мин. 50 сек. Время эвакуации всего здания 18 мин. 50 сек. Принимаем время сообщения звеньям о местонахождении пострадавших равным 11 минутам. По результатам проведенных расчетов в первом разделе на 11 минуте в помещениях второго этажа работают два звена ГДЗС (1.1 и 1.2) их нахождение при проведении практического эксперимента обозначено на рисунке Б.2.

Нумерацию звеньев ГДЗС в дальнейшем принимаем, как в подразделе 1.3.

Учитывая полученные временные отрезки на выполнение работ по эвакуации (звенья ГДЗС ПСЧ-2) и спасению (звенья ГДЗС ПСЧ-1), рассчитаем время готовности звеньев к выполнению следующих работ по формуле (8) в которой:

- время включения звеньев, с момента возникновения пожара, для звеньев 2.1 и 2.2 – 14 ч 09 мин, 1.1 и 1.2 – 14 ч 10 мин;
- время, затраченное на следование звеньев к месту, в соответствии с таблицей 6 для звеньев 2.1 и 2.2 – 1,7 мин, 1.1 и 1.2 – 2,0 мин и 2,9 мин;
- время, затраченное на следование обратно, в соответствии с таблицей 6 для звеньев 2.1 и 2.2 – 2,5 мин, 1.1 и 1.2 – 2,8 мин и 2,3 мин.

Определяем по формуле (8) время возвращения для звеньев 2.1, 2.2, 1.1 и 1.2:

$$T_{\text{возвр.2.1,2.2}} = 14^{09} + 1,7 + 2,5 = 14 \text{ ч } 14 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{возвр.1.1}} = 14^{10} + 2,0 + 2,8 = 14 \text{ ч } 15 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{возвр.1.2}} = 14^{10} + 2,9 + 2,3 = 14 \text{ ч } 16 \text{ мин}$$

Время готовности звеньев к выполнению следующей боевой задачи с учетом времени на замену баллонов (10 мин) и округлением секунд в большую сторону составит:

- 2.1, 2.2 – 14 ч 24 мин,
- 1.1 – 14 ч 25 мин,
- 1.2 – 14 ч 26 мин.

Так как при проведении практического эксперимента не рассматривалась скорость передвижения звеньев ГДЗС работающих на тушение пожара, значение скорости принимаем такое же, как и в расчетах раздела один. Эвакуация второго этажа завершится в 14 ч 11 мин, а всего здания в 14 ч 19 мин, следовательно, последующие пребывающие подразделения возможно задействовать в тушении пожара. Дальнейшие расчеты производим по методикам, представленным в [6] и [9].

В соответствии с расчетами, проведенными в подразделе 1.3 и изменившейся обстановкой из-за предлагаемых технических решений в 14 ч 12 мин звено ПСЧ-3 подает ствол РСКУ-50 на тушение пожара, путь пройденный до места проведения работ составляет 50 метров время, затраченное на преодоление пути 2,4 минуты.

При определении времени разворачивания подразделения учтем время, затраченное звеном на преодоление расстояния до места тушения пожара, в результате получаем 14,4 минуты.

Путь пройденный огнем определяем по формуле (10):

$$L_{\text{ППСЧ-3}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 14,4 = 16,49 \text{ м}$$

Форма площади пожара представлена на рисунке 28.

В соответствии с полученной формой пожара (рисунок 28) площадь пожара определяем по формуле (11):

$$S_{\text{п}} = 32,98 \cdot 16 + \frac{3,58 \cdot 3,81}{2} + 5,22 \cdot 4,07 + \frac{2,25 \cdot 2,51}{2} = 558,57 \text{ м}^2$$

Временные параметры работы звена полностью соответствуют рассчитанным значениям в подразделе 1.3 для звена 9.1, время готовности для выполнения следующей задачи 15 ч 00 мин.

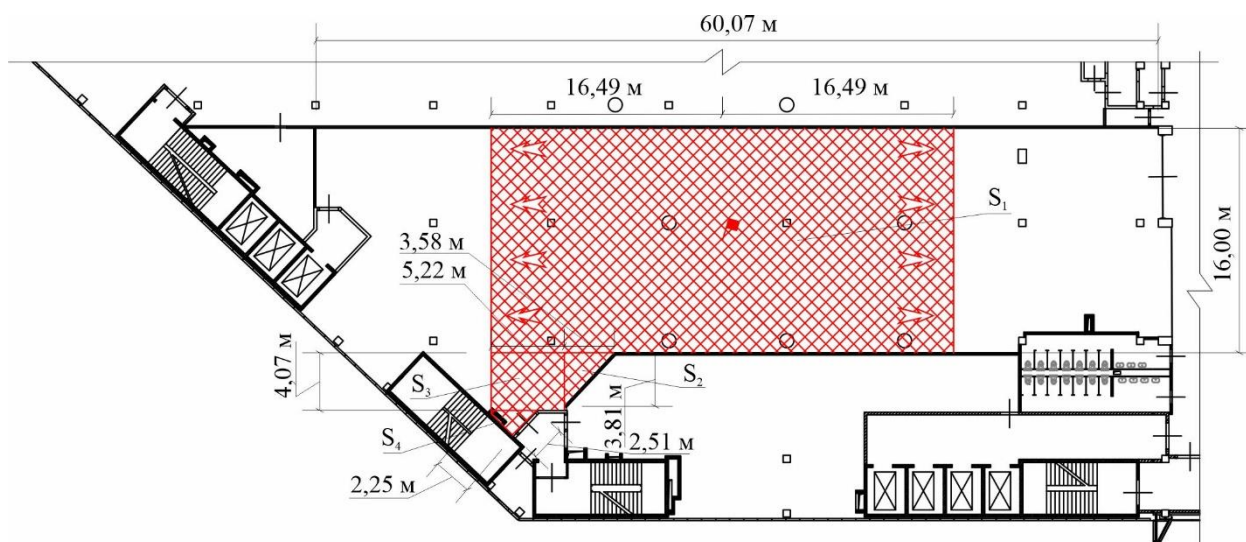


Рисунок 28 – Форма площади пожара на момент подачи ствола звеном 3.1

В 14 ч 11 мин прибывает отделение ПСЧ-30, которому ставится задача подать звеном ГДЗС ствол на тушение пожара со стороны пешеходной галереи. С учетом времени прибытия, получения задачи ствол будет подан через 15,4 мин после начала пожара. Остальные временные параметры полностью соответствуют работе звена 3.1. Временные параметры звена 4.1 к выполнению следующей задачи 15 ч 01 мин.

Распространение пожара в сторону пешеходной галереи определяется по формуле (15):

$$L_{\text{ПСЧ-30}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 14,4 + 0,5 \cdot 0,85 \cdot 1 = 16,92$$

Развитие пожара в противоположном направлении определяется по формуле (8):

$$L_{\text{ПСЧ-30}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 15,4 = 17,34 \text{ м}$$

Форма площади пожара представлена на рисунке 29.

Площадь пожара определяем по формуле (11):

$$S_{\text{п}} = 34,26 \cdot 16 + \frac{3,58 \cdot 3,81}{2} + 6,07 \cdot 4,07 + \frac{2,65 \cdot 2,51}{2} = 583,01 \text{ м}^2$$

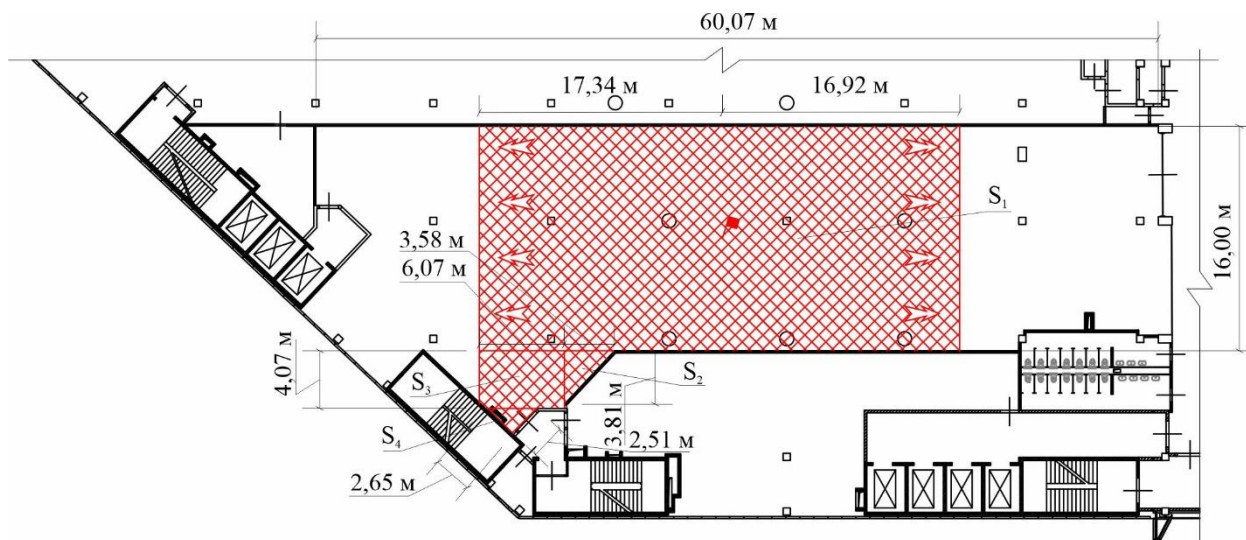


Рисунок 29 – Форма площади пожара на момент подачи ствола звеном 4.1

В 14 ч 13 мин прибывает два отделения ПСЧ-35, которым ставится задача подать два ствола звеньями ГДЗС на тушение пожара через торговый зал гипермаркета. Так как стена между горящим помещением и помещением гипермаркета высотой четыре метра необходимо использовать две штурмовые лестницы для подъема и спуска. Время включения звеньев 14 ч 15 мин.

Расстояние, которое необходимо преодолеть звеньям до места проведения работ составляет 49 метров. Учитывая, передвижение звеньев с лестницами, а также подъем и спуск по ним принимаем скорость равной 10,5 м/мин, тогда время, затраченное на путь к месту выполнения задачи равно 4,7 минут. Время подачи стволов с момента начала пожара составит 19,7 минут.

Так как на момент подачи стволов звеньями 5.1 и 5.2 со стороны пешеходной галереи поданы два ствола распространение пожара в ее сторону прекращено.

Развитие пожара в противоположном направлении определяется по формуле (8):

$$L_{\text{ПЧС-35}} = 5 \cdot 0,85 + 0,85 \cdot 19,7 = 21,00 \text{ м}$$

Форма площади пожара представлена на рисунке 30.

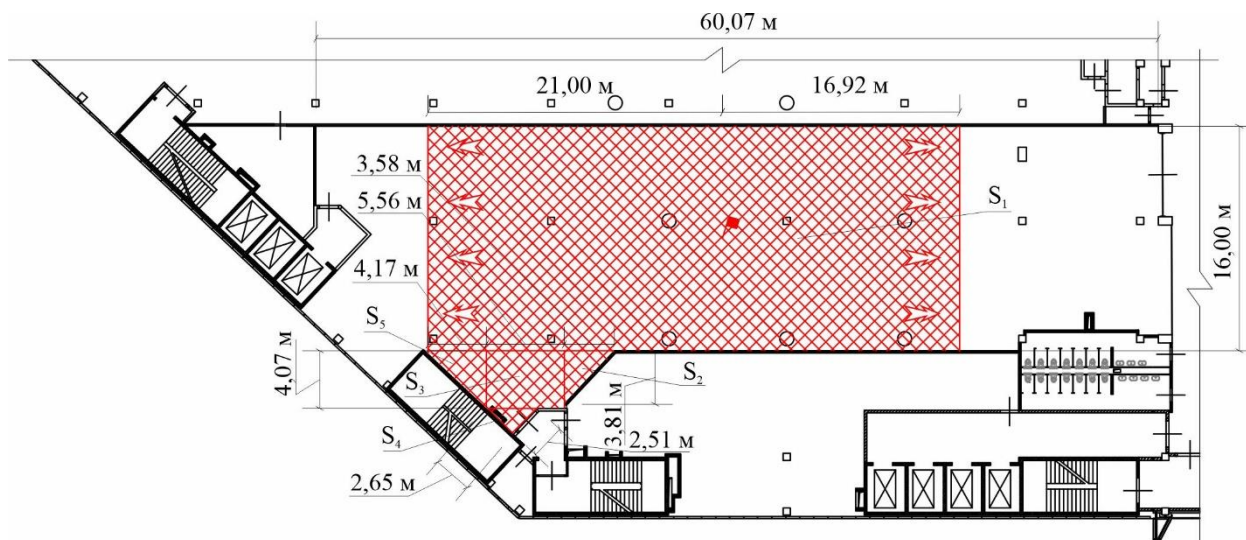


Рисунок 30 – Форма площади пожара на момент подачи стволов звеньями 5.1 и 5.2

В соответствии с полученной формой пожара (рисунок 30) формула расчета площади будет иметь вид:

$$S_{\text{П}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 =$$

$$= a_1 \cdot b_1 + \frac{a_2 \cdot b_2}{2} + a_3 \cdot b_3 + \frac{a_4 \cdot b_4}{2} + \frac{a_5 \cdot b_5}{2}, \quad (30)$$

$$S_{\text{П}} = 37,92 \cdot 16 + \frac{3,58 \cdot 3,81}{2} + 5,56 \cdot 4,07 + \frac{2,65 \cdot 2,51}{2} +$$

$$+ \frac{4,07 \cdot 4,17}{2} = 647,99 \text{ м}^2$$

Рассчитаем параметры работы звеньев 5.1 и 5.2 у очага пожара. Контрольное давление, при котором звену необходимо выходить на свежий

воздух с учетом максимальное падение давления в звене у места пожара 30 кгс/см² определяется по формуле (12):

$$P_{\text{к.вых}} = 30 + \frac{1}{2} \cdot 30 + 10 = 55 \text{ кгс/см}^2$$

Время работы звена у очага пожара с учетом минимальное давление у очага 250 кгс/см² определяется по формуле (13):

$$T_{\text{раб.}} = \frac{(250 - 55) \cdot 7}{40 \cdot 1,1} = 31 \text{ мин}$$

Расстояние для выхода звена составляет 49 м, на преодоление которого будет затрачено 4,7 минуты. Времени возвращения определяется по формуле (14):

$$T_{\text{возвр.}} = 14^{15} + 4,7 + 4,7 + 31 = 14 \text{ ч } 56 \text{ мин}$$

С учетом времени на замену баллонов готовность звеньев 5.1 и 5.2 к выполнению следующей БЗ в 15 ч 06 мин.

Так как помещение, в котором произошел пожар в длину и ширину превышает глубину тушения пожара ручным пожарным стволом произведем расчет площади тушения по формуле (19), распространение пожара в две стороны:

$$S_{\text{т}} = 2 \cdot 16 \cdot 5 = 160 \text{ м}^2$$

Требуемый расход воды на тушение определяем по формуле (20):

$$Q_{\text{тр}}^{\text{т}} = 160 \cdot 0,2 = 32 \text{ л/с}$$

Количество стволов на тушение определяется по формуле (21):

$$N_{\text{ст}}^{\text{T}} = \frac{32}{8} = 4$$

На тушение пожара необходимо подать четыре ствола. Два со стороны торговой галереи и два с противоположной стороны. Условие по нераспространению и успешному тушению пожара в горящем помещении выполняется.

Для соблюдения условия локализации необходимо подать стволы на защиту смежных помещений, ниже и выше расположенных этажей [45].

Стволы на защиту:

- один ствол звеном ГДЗС на защиту антресоли, которая находится над горящим помещением в районе наружной стены;
- один ствол звеном ГДЗС на защиту третьего этажа;
- один ствол звеном ГДЗС на защиту помещений гипермаркета;
- один ствол звеном ГДЗС на защиту помещений склада;
- один ствол звеном ГДЗС на защиту первого этажа.

Общее количество стволов определяется по формуле (22):

$$N_{\text{ст}}^{\text{общ}} = 4 + 5 = 9$$

Количество магистральных линий для подачи девяти стволов равно четырем. Данное количество принимаем исходя из того, что на тушение будет подано четыре ствола с расходом 8 л/с, а на защиту пять стволов с расходом 4 л/с. При таких значениях возможно подать от одной магистральной линии три ствола.

При расчете требуемого количества личного состава учтем четырех человек работающих на разветвлениях.

Общее количество личного состава рассчитаем по формуле (23):

$$N_{\text{личн.сост}} = 4 \cdot 3 + 5 \cdot 3 + 4 + 9 + 1 + 1 + 3 \cdot 3 = 51 \text{ человек}$$

Требуемое количество отделений основного назначения рассчитывается по формуле (24):

$$N_{\text{отд}} = \frac{51}{4} = 13 \text{ отделений}$$

Согласно данным приведенным в таблице 6, на пожар прибывает девять отделений основного назначения, что на четыре меньше требуемого. Общее количество прибывающего личного состава в соответствии с разделом один составляет 54 человека. Для тушения пожара его достаточно, но десять человек руководства прибывает на машинах, не оснащенных рукавами и пожарно-техническим вооружением. Выезд к месту осуществляется только после подтверждения повышенного ранга пожара, что приводит к развитию пожара на большую площадь. Что также подтверждает недостаточное количество основных отделений.

Расчеты параметров работы звеньев на тушение и защиту по формулам (12) – (14), и выполняемые ими боевые задачи представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Параметры работы звеньев до достижения момента локализации с применением предлагаемых мероприятий по улучшению пожарной безопасности

Звено	Боевая задача	Т _{вкл.} , ч:МИН	S, м	Р _{тахпад} , кгс/см ²	Р _{тпн} , кгс/см ²	Р _{к.вых} , кгс/см ²	Т _{раб.} , МИН	Т _{возвр.} , ч:МИН	Т _{сл.БЗ} , ч:МИН
3.1	Тушение пожара	14:12	50	19	261	55	32	14:50	15:00
4,1	Тушение пожара	14:13	50	19	261	55	32	14:51	15:01
5.1	Тушение пожара	14:15	49	30	250	55	31	14:56	15:06
5.2	Тушение пожара	14:15	49	30	250	55	31	14:56	15:06
6.1	Защита помещений гипермаркета	14:16	60	19	261	55	32	14:54	15:04
7.1	Защита помещений склада	14:19	84	25	255	55	31	14:58	15:08
2.1	Защита третьего этажа	14:24	100	32	248	54	30	15:04	15:14
2.2	Защита антресоли	14:24	61	19	261	55	32	15:02	15:12
1.1	Защита первого этажа	14:25	60	19	261	55	32	15:03	15:13

Сравнивая результаты, полученные в подразделе 1.3 и результаты с применением предлагаемых средств для локализации местонахождения пострадавших, а также оснащение всех звеньев ГДЗС тепловизионным оборудованием можно выделить следующие положительные моменты:

- время нахождения и эвакуации пострадавших уменьшилось с 45 до 16 минут;
- время создания условий для локализации уменьшилось с 62 до 25 минут;
- площадь пожара уменьшилась с 836,34 м² до 647,99 м²;
- количество истраченных баллонов со сжатым воздухом на момент локализации уменьшилось с 39 до 12 штук;
- тушение и проведение аварийно-спасательных работ, при принятых условиях можно проводить прибывающими отделениями без учета руководства, необходимость прибытия руководства обусловлена организацией резервных звеньев ГДЗС.

Полученные результаты стали возможными только при взаимодействии пожарно-спасательных подразделений с КСБ и системами ПБ объекта.

Ситуация с количеством техники и личного состава не изменилась в лучшую сторону, напротив даже ухудшилась. Способствовало этому уменьшение времени подачи стволов на тушение, как следствие возможность проведения работ по ликвидации пожара с двух сторон. Расчет подтверждает данные приведенные мною в статье [1] о недостаточности техники и личного состава в местном пожарно-спасательном гарнизоне города Хабаровска.

Выводы к разделу 3

В третьем разделе магистерской диссертации были приведены результаты практического эксперимента по определению времени обнаружения и эвакуации находящихся в здании людей. Произведен перерасчет требуемого количества сил и средств с учетом работы всех предлагаемых технических решений по уменьшению времени проведения аварийно-спасательных работ. Расчет показывает, что предлагаемые мероприятия эффективны.

Основными выводами является:

- наличие системы распознавания лиц, а также оснащение звеньев ГДЗС переносными тепловизорами позволяет значительно сократить время проведения аварийно-спасательных работ, площадь на которую распространяется пожар, количество баллонов со сжатым воздухом, время локализации. Это подтверждает обоснованность предлагаемых технических решений;
- необходимо оснастить звенья ГДЗС переносными тепловизорами, исходя из расчета один прибор на каждое звено;
- тепловизоры компании Пергам подходят для оснащения звеньев, кроме своих высоких тактико-технических характеристик они производятся в РФ, что в складывающейся обстановке очень актуально;
- предлагаемые решения не позволяют уменьшить численность требуемого личного состава для проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожара. Для улучшения проведения данных работ требуется увеличение прибывающих отделений основного назначения, достигнуть этого возможно строительством, как минимум двух новых пожарных частей. Учитывая, что в последнее время в городе идет строительство новых жилых микрорайонов на пустующих до этого территориях, включающих в себя всю необходимую инфраструктуру (детские сады, школы, ТРЦ и т.д.), строительство новых частей выглядит разумным шагом;
- взаимодействие пожарно-спасательных подразделений с КСБ оснащенными системой распознавания лиц позволяет значительно улучшить проведение спасательных работ подразделениями.

Заключение

В магистерской диссертации были использованы результаты научных исследований, ученых занимавшихся вопросами, характеризующими и отражающими тематику работы, официальные статистические данные ФГБОУ «Всероссийский ордена «Знак почета» научно исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России», данные характеризующие силы и средства местного пожарно-спасательного гарнизона города Хабаровска 21 пожарно-спасательного отряда Федеральной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Хабаровскому краю, выводы собственных наблюдений и материалы проведенного практического эксперимента.. Проблемные вопросы, изложенные в работе, имеют непосредственное отношение к возможности проведения эвакуационных мероприятий, аварийно-спасательных работ и тушению пожара в ТРЦ.

В первом разделе проведен анализ произошедших происшествий в ТРЦ за период с 2016 по 2020 годы. Информация в открытых источниках указывает на то, что наиболее масштабными происшествиями являлись пожары. Так за указанный период общий ущерб на объектах с массовым нахождением людей составил 873790 т. р., количество погибших 67 человек при 1381 произошедшем пожаре. Тем самым был обоснован выбор в пользу рассмотрения систем пожарной безопасности, как одной из составляющей комплексных систем безопасности.

Детально рассмотрены системы пожарной безопасности ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ», как самого большого функционирующего объекта данной направленности на территории г. Хабаровска. В результате сделан вывод о полном соответствии существующих систем нормативной документации.

Расчет требуемого количества сил и средств необходимых для проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожара показал, что в целом их достаточно, но для этого необходимо привлечение всего руководящего состава местного пожарно-спасательного гарнизона. При этом выезд к месту пожара

происходит только после подтверждения повышенного ранга. Прибывающее руководство не имеет в своем распоряжении пожарной техники оснащенной пожарно-техническим вооружением. К месту прибывают на личном или служебном транспорте с боевой одеждой и дыхательными аппаратами. Результаты расчетов показали, что из-за необходимости проверки большого количества помещений весь личный состав задействуется в проведении данных мероприятий, но даже при учете этого максимальное время обнаружения и спасения людей на втором этаже составило недопустимые 45 мин.

Основные выводы по первому разделу:

- все ТРЦ города построены по индивидуальным проектам, различной площади, этажности и вместительности, оснащены интегрированными КСБ;
- системы пожарной безопасности ТРЦ «БРОССКО МОЛЛ» соответствуют нормативной документации и находятся в исправном состоянии, при этом они не обладают функционалом определения заторов на путях эвакуации и не позволяют определять местоположение пострадавших в случае сильного задымления;
- учет наличия специализированной ПСЧ в расписании выездов, как подразделения постоянно дислоцирующего на территории города вводит в некое заблуждение, так как оно может находиться в командировке в любом населенном пункте Хабаровского края;
- для обнаружения пострадавших требуется значительное количество времени, что приводит к пагубным последствиям, к таким как продолжительное время нахождения человека в непригодной для дыхания среде, увеличение площади пожара в следствии невозможности подачи стволов на ограничение его распространения;
- количество личного состава местного пожарно-спасательного гарнизона достаточно для проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожара только с учетом прибытия руководства.

Во втором разделе, для улучшения процесса эвакуации и уменьшения времени обнаружения было предложено применение системы распознавания лиц в совокупности с оснащением звеньев ГДЗС тепловизорами. Проведя анализ наиболее популярных систем был выбран программный комплекс FindFace Security, производства российской компании Ntechlab. Неоспоримым преимуществом является распознавание по силуэту, данная функция позволяет реализовать требуемый нам подсчет людей, находящихся в определенной зоне, а также их трафик с незначительными дополнениями программного комплекса. А также было предложено решение по повышению эффективности эвакуации посетителей.

Основные выводы по второму разделу:

- в настоящее время одним из лидеров в распознавании лиц является компания из РФ Ntechlab выпускающая программный комплекс FindFace Security, имеющий функцию распознавания по силуэту, что позволяет реализовать межкамерный трекинг силуэтов;
- организация контроля за процессом эвакуации возможна в автоматическом режиме. Функционал программного комплекса FindFace Security позволяет с точностью 95 % определять возраст человека, что несомненно необходимо при расчете плотности людского потока. Для этого не требуется создание базы данных и никакой личной информации, что не нарушает законодательства РФ. Данная возможность реализована посредством функции распознавания по силуэту;
- применение стационарных тепловизионных камер нецелесообразно ввиду большого количества стеклянных конструкций, для получения приемлемого результата потребуется установка большого количества устройств, что приведет к значительным материальным затратам.
- переносной тепловизор «ПИТОН» ТП-001, обладает низкими техническими характеристиками, максимальная дальность идентификации составляет 15 м, что приводит к необходимости

звеньям ГДЗС сближаться с наблюдаемым объектом на это расстояние;

- предлагаемый переносной тепловизор Pergam F300 обладает значительно лучшими характеристиками, дальность идентификации 53-54 м, также есть возможность записи видео и сохранение снимков, опционально можно организовать передачу видеосигнала в формате 4G.

Практический эксперимент, проведенный в третьем разделе показал, что время проведения аварийно-спасательных работ существенно уменьшается. Предлагаемые технические мероприятия позволили затратить на спасение людей 16 мин, что в 2,8 раза меньше чем без учета их применения. При этом данные мероприятия не позволяют уменьшить количество требуемого личного состава для проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожара. Проведенный эксперимент и расчеты косвенно подтверждают необходимость строительства, как минимум двух дополнительных пожарных подразделений. Количество отделений на основных пожарных автомобилях, в которых должно быть не менее двух в каждом, а также дополнительно в одном из них отделение на автомобиле газодымозащитной службы. Кроме этого каждое звено ГДЗС должно быть оснащено тепловизорами.

Основные выводы по третьему разделу:

- наличие системы распознавания лиц, а также оснащение звеньев ГДЗС переносными тепловизорами позволяет значительно сократить время проведения аварийно-спасательных работ, площадь на которую распространяется пожар, количество баллонов со сжатым воздухом, время локализации. Это подтверждает обоснованность предлагаемых технических решений;
- необходимо оснастить звенья ГДЗС переносными тепловизорами, исходя из расчета один прибор на каждое звено;

- тепловизоры компании Пергам подходят для оснащения звеньев, кроме своих высоких тактико-технических характеристик они производятся в РФ, что в складывающейся обстановке очень актуально;
- предлагаемые решения не позволяют уменьшить численность требуемого личного состава для проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожара. Для улучшения проведения данных работ требуется увеличение прибывающих отделений основного назначения, достигнуть этого возможно строительством, как минимум двух новых пожарных частей. Учитывая, что в последнее время в городе идет строительство новых жилых микрорайонов на пустующих до этого территориях, включающих в себя всю необходимую инфраструктуру (детские сады, школы, ТРЦ и т.д.), строительство новых частей выглядит разумным шагом;
- взаимодействие пожарно-спасательных подразделений с КСБ оснащенными системой распознавания лиц позволяет значительно улучшить проведение спасательных работ подразделениями.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Андриенко А.В., Трошин П.С. Анализ возможности тушения пожаров и спасения людей местным пожарно-спасательным гарнизоном в торгово-развлекательных центрах города Хабаровска [Текст] // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, 10–11 ноября 2021 г. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 230-234.

2. Аппарат дыхательный АП «Омега». Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: <https://fireman.club/literature/rukovodstvo-po-ekspluatatsii-ap-omega> (дата обращения 19.10.2021)

3. АРМ «ОРИОН ПРО». [Электронный ресурс] : Сайт разработчика BOLID URL: <https://bolid.ru> (дата обращения 20.02.2022)

4. Барашко Е.Н., Мазуренко С.О., Шадрин А.А. Современные решения идентификации человека, распознавание лиц [Электронный ресурс] // Специализированное периодическое издание. The scientific heritage. – 2019 – № 42. – С. 40-42. URL: <http://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2020/09/VOL-1-No-42-42-2019.pdf> (дата обращения 05.11.2021)

5. В Махачкале потушили пожар в ТЦ «Пассаж». [Электронный ресурс] : Официальный сайт РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20200225/1565199155.html> (дата обращения 10.09.2021)

6. Габдуллин В.Б., Ищенко А.Д. Влияние периодов работы звеньев газодымозащитной службы на непрерывность тушения пожаров [Электронный ресурс] // Научный журнал. Технологии техносферной безопасности. – 2020 – № 1. – С. 25-37. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2020-1/04-01-20.ttb.pdf> (дата обращения 19.10.2021)

7. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. М. : Стройиздат, 1987. 288 с.
8. Идентификация граждан Innovatrics ABIS. [Электронный ресурс] : Сайт разработчика Innovatrics. URL: <https://www.innovatrics.com/innovatrics-abis/biometrics-for-civil-identification> (дата обращения 10.02.2022)
9. История одного пожара. Пожар в ТРЦ «РИО» на Дмитровском шоссе [Электронный ресурс] : Информация на официальном сайте МЧС России. URL: <https://moscow.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/4161193> (дата обращения 10.09.2021)
10. Методические указания по проведению расчетов параметров работы в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и зрения [Электронный ресурс] : Письмо МЧС России № 18-4-3-3158 от 19.08.2013. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044595> (дата обращения 15.10.2021)
11. Набор программных компонентов 3DiVi Face SDK. [Электронный ресурс] : Сайт разработчика 3DiVi. URL: <https://face.3divi.com> (дата обращения 10.02.2022)
12. Общественные здания и сооружения [Электронный ресурс] : СП 118.13330.2012 от 01.09.2014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092705> (дата обращения 22.09.2021)
13. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : СП 7.13130.2013 : утв. приказом МЧС России №116 от 21.02.2013. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200098833> (дата обращения 22.09.2021)
14. Петров В.В. Комплексные системы безопасности современного города : учебное пособие / В.В. Петров, В.В. Коробкин, А.Б. Сивенков ; под общей редакцией профессора Петрова В.В. ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. – 157 с.

15. Платформа мультиобъективной видеоаналитики FINDFACE MULTI [Электронный ресурс] : Сайт разработчика Ntechlab. URL: <https://ntechlab.ru/findface-multi> (дата обращения 10.02.2022)
16. План тушения пожара ТРЦ «Большая медведица» / 21 ПСО ФПС ГУ МЧС России по Хабаровскому краю, 2020. 44 с.
17. План тушения пожара ТРЦ «БРОСКО МОЛЛ» / 21 ПСО ФПС ГУ МЧС России по Хабаровскому краю, 2020. 76 с.
18. План тушения пожара ТРЦ «Горизонт» / 21 ПСО ФПС ГУ МЧС России по Хабаровскому краю, 2020. 48 с.
19. План тушения пожара ТРЦ «Магазины радости» / 21 ПСО ФПС ГУ МЧС России по Хабаровскому краю, 2020. 51 с.
20. План тушения пожара ТРЦ «НК-Сити» / 21 ПСО ФПС ГУ МЧС России по Хабаровскому краю, 2019. 61 с.
21. План тушения пожара ТРЦ «Стрелка» / 21 ПСО ФПС ГУ МЧС России по Хабаровскому краю, 2019. 39 с.
22. План тушения пожара ТРЦ «Южный парк» / 21 ПСО ФПС ГУ МЧС России по Хабаровскому краю, 2018. 45 с.
23. Пожар в ТЦ «Максим» во Владивостоке. [Электронный ресурс] : Официальный сайт РИА Новости. URL: https://ria.ru/category_pozhar-v-tts-maksim-vo-vladivostoke (дата обращения 10.09.2021)
24. Пожар в торговом центре «Зимняя Вишня». [Электронный ресурс] : Материал из Википедии. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пожар_в_торговом_центре_«Зимняя_вишня» (дата обращения 10.09.2021)
25. Пожарный тепловизор Pergam F300. [Электронный ресурс] : Сайт производителя. URL: <https://www.pergam.ru/files/products/pergam-f300.pdf> (дата обращения 10.03.2022)
26. Полехин П.В., Чебуханов М.А., Козлов А.А. и др. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году : Статистический сборник; под общей ред. Д.М. Гордиенко. М. : ВНИИПО, 2021. – 112 с., ил.

27. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. доп. и перераб. – М. : Стройиздат, 1979. – 375 с.

28. Программный комплекс Yitu. [Электронный ресурс] : Сайт разработчика Yitu. URL: <https://www.yitutech.com> (дата обращения 10.02.2022)

29. Рыжова В.А. Проектирование и исследование комплексных систем безопасности. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 157 с.

30. Сетевая камера серии AXIS M3203. [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании AXIS Communication. URL: <https://www.axis.com/ru-ru/products/axis-m3203/support> (дата обращения 10.10.2021)

31. Сетевые камеры серии AXIS Q16. [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании AXIS Communication. URL: <https://www.axis.com/ru-ru/products/axis-q1604-e/support> (дата обращения 10.10.2021)

32. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 53704-2009. – Введ. 2010-09-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080466>. (дата обращения 13.09.2021)

33. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс] : СП 10.13130.2020 : утв. приказом МЧС России № 559 от 27.07.2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566249684> (дата обращения 22.09.2021)

34. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : СП 8.13130.2020 : утв. приказом МЧС России № 225 от 30.03.2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565391175> (дата обращения 13.09.2021)

35. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты [Электронный ресурс] : СП 2.13130.2020 : утв. приказом

МЧС России № 151 от 12.03.2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565248963> (дата обращения 15.09.2021)

36. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : СП 3.13130.2009 : утв. приказом МЧС России № 173 от 25.03.2009. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071145> (дата обращения 22.09.2021)

37. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс] : СП 484.1311500.2020 : утв. приказом МЧС России № 582 от 31.07.2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения 22.09.2021)

38. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс] : СП 485.1311500.2020 : утв. приказом МЧС России № 628 от 31.08.2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения 22.09.2021)

39. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы [Электронный ресурс] : СП 1.13130.2020 : утв. приказом МЧС России № 194 от 19.03.2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565248961> (дата обращения 18.09.2021)

40. Смагин, М.С. Применение тепловизоров для решения аварийно-спасательных задач: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] URL: <https://fireman.club/literature/primenenie-teplovizorov-dlya-resheniya-pozharno-spasatelnyx-zadach-m-s-smagin> (дата обращения 10.03.2022)

41. Ствол пожарный ручной комбинированный универсальный [Электронный ресурс]. URL: https://fire-automatics.ru/f/pasport_stvol_ruchnoj_rsku_50_70.pdf (дата обращения 19.10.2021)

42. Тепловизионные комплексы наблюдения ПЕРГАМ. [Электронный ресурс] : Сайт разработчика ПЕРГАМ. URL: <https://www.pergam.ru/pdf/PTP.pdf> (дата обращения 10.02.2022)

43. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123 (с изменениями на 27.12.2018). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644>. (дата обращения 13.09.2021)

44. Установка лифтов для пожарных в зданиях и сооружениях. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 53296-2009. – Введ. 2009-05-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071914> (дата обращения 18.09.2021)

45. Чистяков, И.М. Влияние снижения видимости на пожаре на работу звеньев ГДЗС [Текст] / И.М. Чистяков, В.В. Кичайкин, И.А. Краснов, Д.П. Погожин // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016 – № 1. – С. 346-347

46. Bernard Klaene Structural Firefighting: Strategies and Tactics. Jones and Bartlett Publishers, 2007

47. BS EN 12101-6:2005. Smoke and heat control systems. Part 6: Specification for pressure differential systems, 2005

48. Carattin E. Wayfinding architectural criteria for the design of complex environments in emergency scenarios. Advanced research workshop proceedings. // Santander : Universidad de Cantabria – 2011. – P. 209-222.

49. Kucera P., Kaiser R., Pavlik T., Pokorny J. Fire engineering-dynamics of fires. Prague, Edition SPBI Spektrum Publ., 2009. 152 p.

50. Obach M., Weckman, E. and Strong, A. Effects of Different Suppression Tactics on the Firefighter and Compartment Environment, 2011)

Приложение А

Проведение спасательных работ

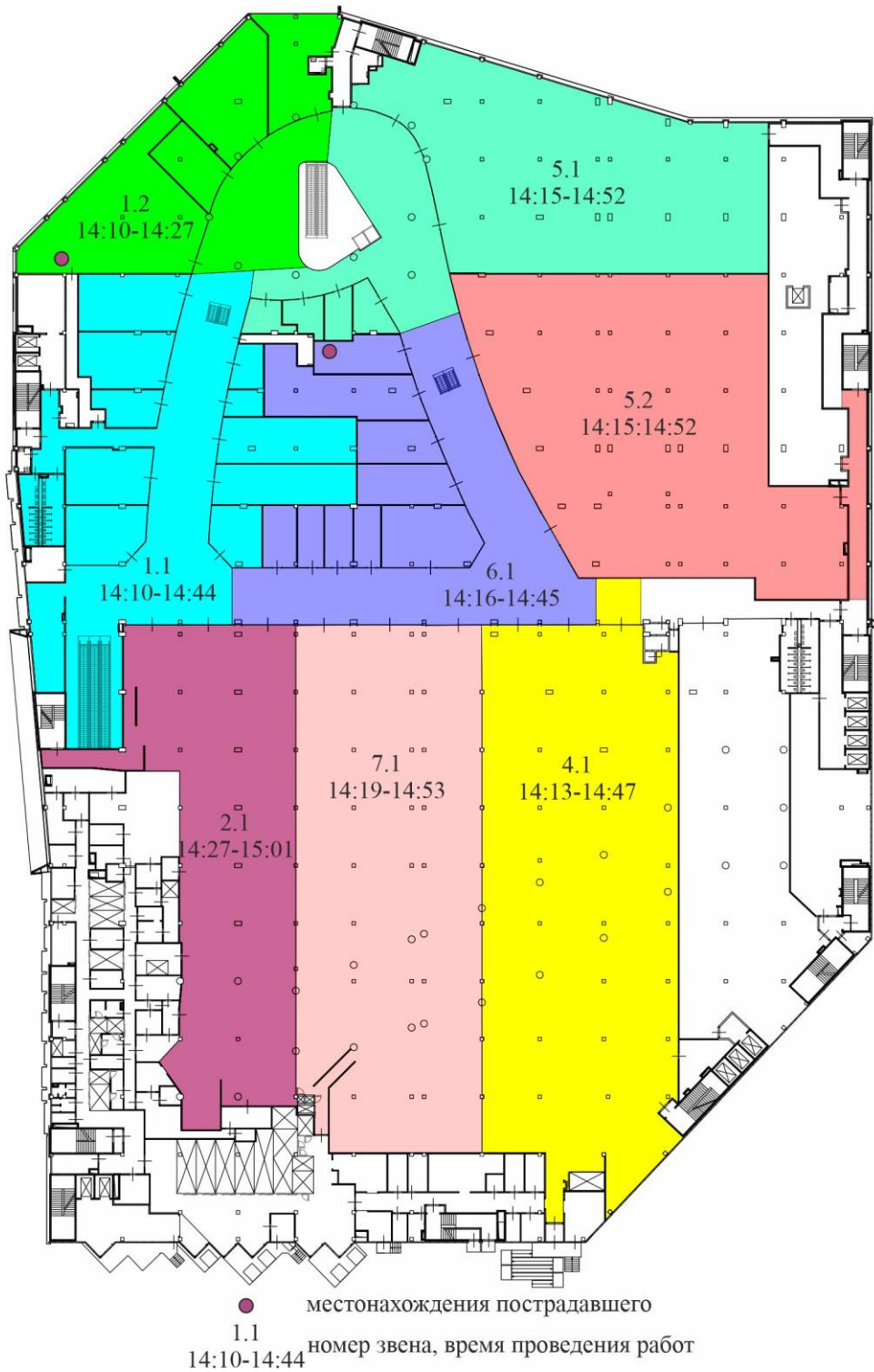


Рисунок А.1 – Помещения, проверяемые звеньями ГДЗС

Приложение Б

Проведение практического эксперимента

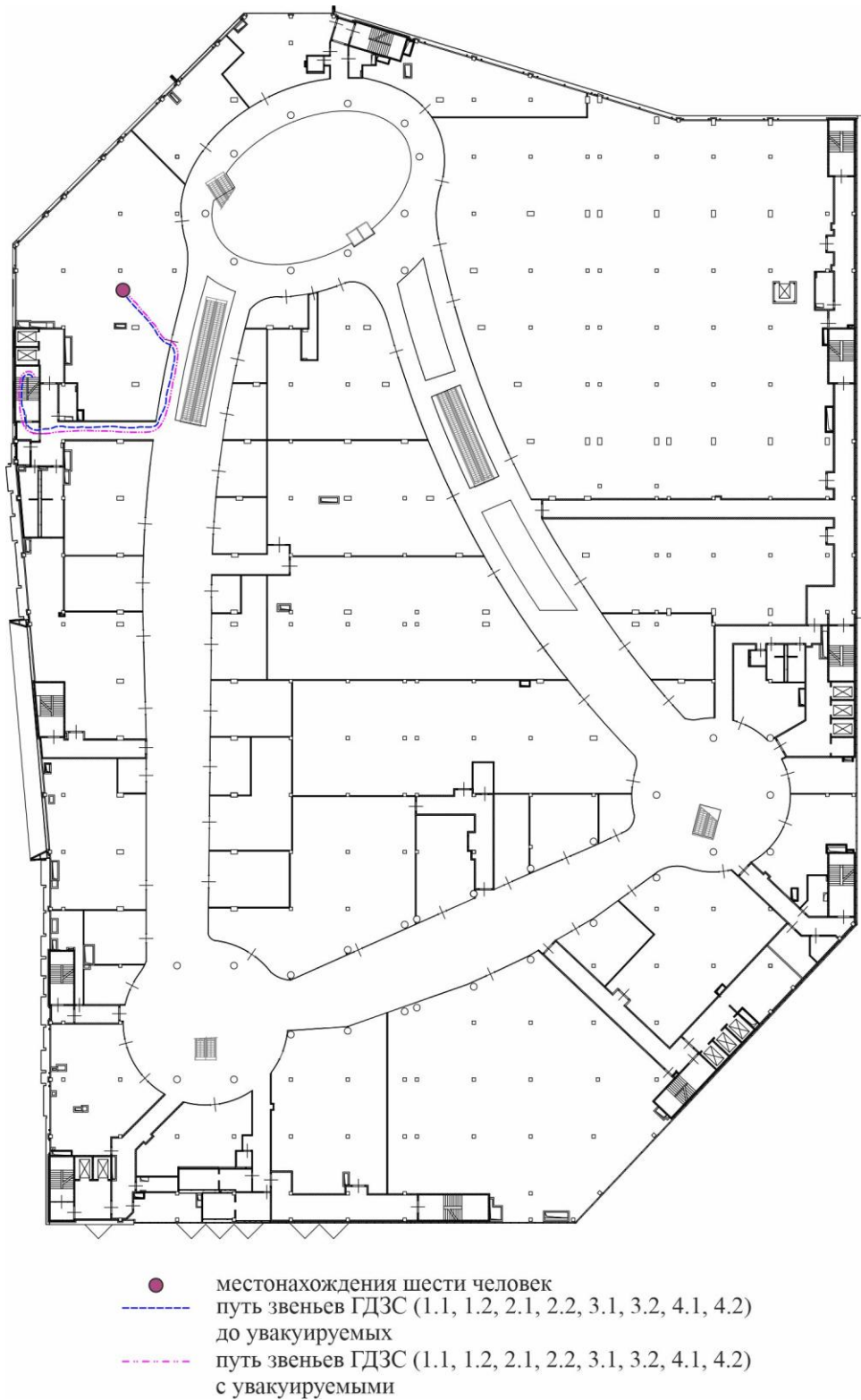


Рисунок Б.1 – Эвакуация шести человек с третьего этажа

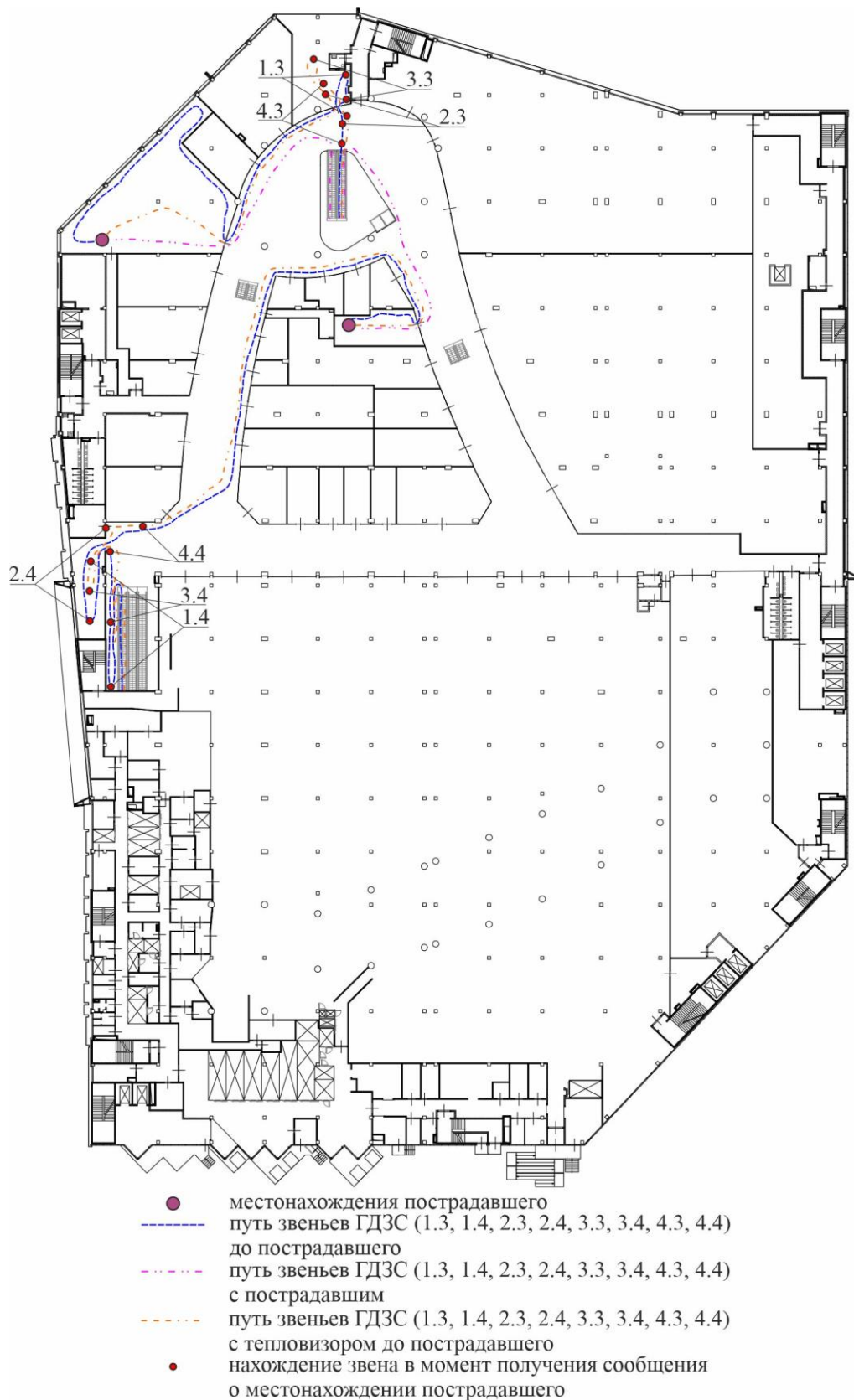


Рисунок Б.2 – Эвакуация двух пострадавших со второго этажа