

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)

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему: Исследование сценариев развития пожара на объекте защиты и разработка методического подхода по оценке вероятности их возникновения

Обучающийся

М.С. Лукин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.ф.н., доцент А.Ю. Соколов

(учёная степень (при наличии), учёное звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе

(учёная степень (при наличии), учёное звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Содержание

Введение.....	4
Термины и определения.....	11
Перечень сокращений и обозначений.....	12
1 Анализ литературных и нормативных правовых источников в области исследования сценариев развития пожаров.....	14
1.1 Нормативные правовые требования к построению сценариев развития пожара.....	14
1.2 Методика и основные показатели при исследовании сценариев развития пожара на объекте защиты	22
2 Исследование и разработка методического подхода по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара	35
2.1 Анализ значимости основных показателей, влияющих на возникновение и развитие возможного сценария пожара	35
2.2 Разработка методического подхода по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара	48
3 Апробация методического подхода по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара	62
3.1 Технология апробации разработанного методического подхода	62
3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации	82
Заключение.....	91
Список используемых источников.....	94
Приложение А Копии опросных листов и протокола обработки результатов опроса о взаимосвязях между основными показателями, влияющими на развитие сценариев пожара.....	100

Приложение Б Копия протокола обследования № Б-01 состояния противопожарной защиты объекта защиты ООО «ИК ЦентрПроект» (г. Кемерово, ул. Институтская, д. 1, 3-4 этажи)	111
Приложение В Копия протокола обследования № К-02 результатов выполнения мероприятий по обеспечению пожарной безопасности ООО «ИК ЦентрПроект» (г. Кемерово, ул. Институтская, д. 1, 3-4 этажи)	116

Введение

Пожары, согласно статистическим данным МЧС России [6], являются одной из наиболее опасных техногенных угроз, наносящих значительный материальный ущерб и приводящих к человеческим жертвам. Исследование сценариев развития пожара на объектах защиты играет важную роль в обеспечении техносферной безопасности. Понимание возможных сценариев позволяет разрабатывать эффективные меры предупреждения и минимизации последствий пожаров.

Актуальность и научная значимость настоящего исследования обусловлены необходимостью повышения уровня безопасности на объектах защиты в условиях увеличивающейся урбанизации, роста числа технологически сложных объектов и повышения уровня техногенных рисков. Своевременное выявление и анализ сценариев развития пожаров позволяют минимизировать возможный ущерб и повысить оперативность реагирования на чрезвычайные ситуации. Научная значимость работы заключается в развитии подходов, предложенных в существующих методиках анализа рисков [16, 17] через разработку нового методического подхода к вероятностной оценке сценариев пожара.

Объектом исследования является процесс прогнозной оценки пожарного риска, основанный на анализе сценариев возникновения и развития пожаров. В исследовании рассматриваются не только материальные компоненты объекта (здания, сооружения, технологическое оборудование, системы противопожарной защиты), но и протекающие в них процессы – как физико-химические (развитие горения, распространение опасных факторов пожара), так и организационно-технологические (функционирование систем противопожарной защиты, эвакуация людей, действия персонала).

Предметом исследования выступают сценарии возникновения и развития пожаров на объектах защиты, а также показатели и факторы, влияющие на вероятность их реализации.

Целью исследования является разработка методического подхода по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара на объектах защиты для обеспечения снижения риска и минимизации ущерба от пожаров.

Гипотеза исследования заключается в том, что снижение риска возникновения и развития пожара на объектах защиты будет обеспечено при разработке и внедрении методического подхода, если:

- проанализировать существующие нормативные правовые акты, методики оценки вероятности возникновения пожаров;
- выявить ключевые факторы, влияющие на развитие сценариев пожара;
- идентифицировать и обосновать набор показателей и факторов риска, определяющих вероятность возникновения различных сценариев пожара на объектах защиты, с учетом их взаимосвязей и влияния внешних условий;
- разработать методический подход прогнозирования вероятности возникновения и развития сценариев пожара, позволяющий учитывать выявленные факторы и адаптироваться под различные условия эксплуатации объектов;
- провести апробацию предложенного методического подхода на реальных объектах защиты с целью его оценки и корректировки;
- выполнить анализ полученных результатов, сформулировать рекомендации по минимизации рисков пожара и повышению уровня пожарной безопасности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ нормативных правовых требований и существующих методик исследования сценариев развития пожара;
- определить основные показатели, влияющие на возникновение и развитие сценариев пожара;

- проанализировать значимость выявленных показателей и определить их взаимосвязи;
- разработать методический подход по оценке вероятности сценариев пожара, учитывающий влияние ключевых факторов;
- провести апробацию предложенного методического подхода, оценив его применимость на практике;
- проанализировать эффективность предлагаемых мероприятий и их влияние на уровень техносферной безопасности.

Анализ литературных источников и нормативной базы позволяет сформировать теоретическую основу исследования. Разработка методического подхода и его апробация обеспечивают практическую значимость работы, а оценка эффективности мероприятий позволяет подтвердить их целесообразность.

Таким образом, выполнение указанных задач направлено на достижение главной цели магистерской диссертации – обеспечение комплексного подхода к исследованию и минимизации рисков, связанных с возникновением и развитием пожаров.

Теоретико-методологическую основу исследования составили современные научные представления о процессах возникновения и развития пожаров, теории вероятностей и статистического анализа, методы системного анализа и моделирования, а также нормативные правовые акты и методические рекомендации в области пожарной безопасности. Используются данные отечественных и зарубежных научных исследований, обобщающие результаты анализа ключевых факторов, влияющих на развитие пожаров, и методы их оценки.

Методы исследования:

- анализ нормативных документов [16, 17, 37] и методических рекомендаций [5, 14 27, 28] в области пожарной и промышленной безопасности для формирования теоретической базы исследования;

- методы системного анализа и моделирования для построения сценариев развития пожаров на объектах защиты, применяемые в [13, 42];
- теория вероятностей и статистический анализ, используемые при оценке рисков [16, 17, 27];
- практическая апробация разработанных подходов на объектах защиты для оценки их применимости и эффективности.

Опытно-экспериментальная база - ООО «ИК ЦентрПроект».

Научная новизна исследования заключается в:

- разработке методического подхода к оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара, учитывающего комплексный анализ ключевых факторов и их взаимосвязей;
- внедрении новых подходов к ранжированию показателей и факторов риска на основе их статистической значимости;
- обосновании методических рекомендаций по минимизации последствий пожаров.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- расширении теоретических представлений о процессах возникновения и развития пожаров на основе анализа ключевых факторов и их взаимосвязей;
- обосновании использования системного анализа, методов моделирования и статистических подходов для оценки вероятности сценариев пожара;
- формировании научной базы для разработки новых методических подходов и рекомендаций в области пожарной безопасности.

Практическая значимость исследования заключается в:

- разработке методических рекомендаций по оценке и минимизации рисков, связанных с возникновением и развитием пожаров;

- возможности применения разработанного методического подхода для повышения уровня пожарной безопасности на конкретных объектах защиты;
- предоставлении практических инструментов для идентификации наиболее опасных сценариев пожаров и принятия превентивных мер;
- уменьшении экономического ущерба и рисков для жизни и здоровья людей за счет внедрения разработанных рекомендаций в реальную практику.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- использованием современных научных методов, включая системный анализ, моделирование и статистическую обработку данных;
- применением нормативных правовых актов и методических рекомендаций, утвержденных в области пожарной безопасности;
- проведением апробации предложенного методического подхода на реальных объектах защиты и анализа полученных результатов;
- сравнением результатов исследования с данными отечественных и зарубежных научных работ, подтверждающих их согласованность и достоверность.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в:

- формулировании цели и задач исследования, определении его структуры и логики;
- проведении анализа нормативных правовых актов и методических рекомендаций в области пожарной безопасности;
- разработке методического подхода к оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара;
- проведении практической апробации предложенного подхода на реальных объектах защиты;

- обобщении и интерпретации полученных результатов, подготовке методических рекомендаций.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Результаты представлены в публикации: Лукин М. С. Анализ нормативно-правового обеспечения показателей сценариев возникновения и развития пожаров на объектах защиты в Российской Федерации // Научно-практический журнал «Аллея науки». 2025, том 1, № 3 (103). С. 48-51.

На защиту выносятся:

- результаты анализа нормативных правовых требований и существующих методик в области исследований сценариев развития пожаров, которые показали наличие нормативно-методического пробела в области комплексной вероятностной оценки сценариев возникновения и развития пожаров; проведенный анализ выявил, что действующие методики не позволяют в полной мере количественно оценивать вероятностные параметры развития различных сценариев пожара с учетом взаимовлияния технических, организационных и человеческих факторов;
- перечень показателей, оказывающих влияние на возникновение и развитие процесса пожара с учетом их приоритетности; анализ выявил семь ключевых факторов, образующих единую систему оценки: от места возникновения очага и частоты пожаров до вероятности поражения людей и влияния конструктивных особенностей объекта; установлена четкая иерархия – наибольшее влияние на безопасность оказывают опасные факторы пожара и вероятность поражения людей, тогда как технические и организационные показатели играют вспомогательную роль;
- установленные зависимости и закономерности между выявленными показателями, влияющими на развитие сценариев пожара; на основе экспертного опроса и анализа построена матрица, которая наглядно показывает, как такие факторы, как место очага, опасные факторы

пожара и планировка здания, влияют друг на друга и на общий риск; установлено, что опасные факторы пожара и вероятность поражения людей оказывают наиболее сильное прямое влияние;

- разработанный методический подход по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара; подход включает шесть этапов: от идентификации опасных зон до разработки мер защиты; его главное преимущество – учет взаимного влияния ключевых факторов при расчетах, что позволяет перейти от общих оценок к конкретным вероятностным показателям для каждого сценария;
- практические результаты апробации подхода на реальном объекте; апробация подтвердила, что методика работоспособна и эффективна; ее применение позволило выявить конкретные опасные сценарии с рассчитанной вероятностью и разработать под них целевые мероприятия, что значительно повысило обоснованность принимаемых решений по пожарной безопасности;
- доказанная эффективность предложенных мероприятий по повышению уровня пожарной безопасности; комплекс разработанных мероприятий, включающий технические и организационные решения, показал свою эффективность на практике; реализация мероприятий позволила достичь нормативных значений по ключевым показателям пожарной безопасности, включая повышение надежности систем противопожарной защиты и сокращение времени эвакуации; экономическая оценка подтвердила целесообразность внедрения предложенных решений для достижения допустимого уровня риска.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, трех глав (разделов), заключения, содержит 9 рисунков, 12 таблиц, список использованной литературы (46 источников), трёх приложений. Основной текст работы изложен на 80 страницах.

Термины и определения

Класс конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков - классификационная характеристика зданий, сооружений и пожарных отсеков, определяемая степенью участия строительных конструкций в развитии пожара и образовании опасных факторов пожара [37].

Моделирование пожара – представление пожара как физического явления передачи тепла и массы в соответствующих условиях его развития [3].

Объект защиты – продукция, в том числе имущество граждан или юридических лиц, государственное или муниципальное имущество (включая объекты, расположенные на территориях населенных пунктов, а также здания, сооружения, транспортные средства, технологические установки, оборудование, агрегаты, изделия и иное имущество), к которой установлены или должны быть установлены требования пожарной безопасности для предотвращения пожара и защиты людей при пожаре [37].

Опасные факторы пожара – факторы пожара, воздействие которых может привести к травме, отравлению или гибели человека и (или) к материальному ущербу [37].

Очаг пожара – место первоначального возникновения пожара [37].

Пожарная безопасность – состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров [19].

Пожарная опасность объекта защиты - состояние объекта защиты, характеризующее возможность возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара [37].

Пожарный риск – мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей [37].

Перечень сокращений и обозначений

ГОСТ – государственный стандарт;

ГОСТ Р – государственный стандарт России;

ИБП – источник бесперебойного питания;

ИК – инженерный консалтинг (в составе названия «ИК ЦентрПроект»);

КЗ – короткое замыкание;

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

ОАО – Открытое акционерное общество;

ООО – общество с ограниченной ответственностью;

ОФП – опасные факторы пожара;

ПБ – пожарная безопасность;

ПЭ – план эвакуации;

РФ – Российская Федерация;

СОУЭ – система оповещения и управления эвакуацией;

СП – свод правил;

СПС – система пожарной сигнализации;

УЗО – устройство защитного отключения;

ФЗ – Федеральный закон;

CFPA Europe – Confederation of Fire Protection Associations Europe (Конфедерация ассоциаций противопожарной защиты Европы);

SFPE – Society of Fire Protection Engineers (общество инженеров по противопожарной защите);

CPR – Commissie voor de Preventie van Rampen (комиссия по предотвращению катастроф, Нидерланды);

ISO – International Organization for Standardization (международная организация по стандартизации);

NFPA – National Fire Protection Association (национальная ассоциация противопожарной защиты, Соединённые Штаты Америки);

PD – Published Document (Публикуемый документ, британская система стандартов).

1 Анализ литературных и нормативных правовых источников в области исследования сценариев развития пожаров

1.1 Нормативные правовые требования к построению сценариев развития пожара

Базовыми документами, устанавливающими требования в области пожарной безопасности на территории РФ, являются: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [19], Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [37], Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в РФ» [18].

Положениями статьи 1 Федерального закона от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [19] введено понятие «пожар». Пожар – это неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Сценарий пожара представляет собой вариант развития пожара с учетом принятого места возникновения и характера его развития. При построении сценариев пожара рассматриваются ситуации с наихудшими условиями для обеспечения безопасности людей. В качестве сценариев с наихудшими условиями пожара рассматриваются сценарии, характеризующиеся наиболее затрудненными условиями эвакуации людей и (или) наиболее высокой динамикой нарастания опасных факторов пожара [16].

Каждый сценарий пожара включает качественное описание течения пожара во времени, при этом идентифицируют ключевые события, которые характеризуют пожар и отличают его от других возможных пожаров. В этой ситуации обычно определяют возгорание и процесс роста пожара, полностью развитую стадию пожара и стадию его распада, учитывая застроенную структуру окружающей среды и все системы пожарной защиты, которые должны действовать в процессе пожара [13].

Положения действующих федеральных законов, нормативных правовых актов РФ, нормативных документов и методик в области пожарной и промышленной безопасности определяют осуществлять построение сценариев развития аварий, в частности пожаров, при оценке рисков.

Федеральным законом от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [19] введено понятие «независимая оценка пожарного риска» или «аудит пожарной безопасности».

В соответствии с положениями статьи 1 Федерального закона от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [19] независимая оценка пожарного риска на объекте защиты проводится в целях определения его соответствия действующим требованиям пожарной безопасности и противопожарного режима.

Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [37] введено понятие и значение допустимого пожарного риска.

Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска утверждены Постановлением Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [20], предполагающие всестороннюю оценку риска пожаров на объекте исследования и связанной с ним угрозы по методикам, утверждаемым Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Методики расчета по оценке пожарного риска должны основываться на:

- анализе пожарной опасности объекта защиты;
- определении частоты возникновения пожара (частоты реализации пожароопасных ситуаций);
- построении полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- оценке последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;

- учете состава системы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений;
- учете степени опасности для группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара, ведущих к гибели 10 человек и более, при проведении расчета по оценке социального пожарного риска.

В актуальной нормативно-правовой системе РФ базовыми методиками по оценке пожарного риска являются:

- методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [17], утвержденная Приказом МЧС РФ от 26.06.2024 № 533;
- методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности [16], утвержденная Приказом МЧС РФ от 14.11.2022 № 1140.

Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [17] устанавливает порядок расчета величин пожарного риска на производственных объектах. Позволяет оценить вероятности возникновения и последствий пожаров на промышленных предприятиях. Положения методики предусматривают определять величины пожарного риска на производственном объекте на основании: анализа пожарной безопасности объекта, определении частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте, построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития, оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития, анализа наличия инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объекта. Методика помогает определить уровень пожарного риска и разработать меры по его снижению, что способствует обеспечению безопасности на производственных объектах.

В развитие методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах позднее были разработаны два пособия по

применению данной методики. В пособии [8] представлены разъяснения по расчетным методам оценки пожарного риска на производственных объектах, приведены сведения о пожаровзрывоопасных и физико-химических свойствах некоторых горючих веществах и материалов, расширены сведения о частотах реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий и частотах возникновения пожара; приведены типовые примеры расчетов величин пожарного риска для производственных объектов и их частей. Пособие [9] дополнено типовыми примерами расчетов величин пожарного риска для производственных объектов транспорта и транспортной инфраструктуры (трубопроводного и железнодорожного транспорта), в случае транспортировки опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом, а также в случае применения индивидуальных средств защиты органов дыхания при пожарах в зданиях и установок локального пожаротушения; кроме того, в пособии дополнены сведения о пожаровзрывоопасных и физико-химических свойствах наиболее распространенных и широко применяемых горючих веществ и материалов, а также сведения о частотах реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий и частоты возникновения пожаров; приведены исходные данные для проведения расчетов распространения опасных факторов пожара при пожарах в зданиях с помощью программных продуктов, реализующих полевою и зонную модели пожаров в зданиях; пособие дополнено методом определения вероятностей эффективного срабатывания технических средств противопожарной защиты при определении потенциального риска в зданиях производственного объекта.

Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности [16] устанавливает порядок определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках классов функциональной пожарной опасности Ф1-Ф4, класса Ф5 - в части стоянок легковых автомобилей (в том числе отдельно стоящих) без технического

обслуживания и ремонта, а также помещений класса функциональной пожарной опасности Ф5 (за исключением помещений категорий А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности), входящих в состав зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1-Ф4. Положения методики предусматривают определять величины пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках на основании: анализа пожарной безопасности зданий, сооружений и пожарных отсеков, определении частоты реализации пожароопасных ситуаций в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках, построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития, оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития, анализа наличия инженерных систем обеспечения пожарной безопасности в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках. Методика помогает определить уровень пожарного риска и разработать меры по его снижению, что способствует обеспечению безопасности в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках.

В развитие методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности разработано пособие по применению данной методики [1]. В пособии представлены разъяснения по расчетным методам оценки пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях общественного назначения, приведены примеры расчета пожарного риска для многофункционального здания, здания гостиницы и пример расчета эвакуации с использованием имитационно-стохастической модели.

Учитывая, что методики [16] и [17], позволяют определять возможные сценарии возникновения и развития пожаров и оценивать частоты реализации пожароопасных ситуаций на объектах защиты, данные методики являются базовыми для решения прикладной задачи диссертации.

Законодательной базой для прогнозирования сценариев пожаров и оценки обстановки при аварийных ситуациях на взрывопожароопасных объектах являются также нормативно-правовые документы в области

промышленной безопасности: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [21], руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [27], руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» [28] и методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» [14].

Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [27] содержит рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий для обеспечения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, реконструкции, техническом перевооружении, эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов.

Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» [28] содержит порядок количественной и балльной оценки риска и определения степени опасности (чрезвычайно высокая, высокая, средняя и низкая) промышленных аварий, в том числе пожаров, на объектах линейной части и площадочных сооружениях опасных производственных объектов магистральных нефтепроводов и магистральных нефтепродуктопроводов, перечень основных показателей риска аварии для линейной части и площадочных объектов опасных производственных объектов магистральных нефтепроводов и магистральных нефтепродуктопроводов, а также методики их расчета или оценки; положения представленных в руководстве методик позволяют определять возможные

сценарии возникновения и развития аварий, в том числе связанных с пожарами нефти и нефтепродуктов, и оценивать частоты реализации пожароопасных ситуаций на линейной части и на площадочных сооружениях опасных производственных объектов магистральных нефтепроводов и магистральных нефтепродуктопроводов; представленные методы определения возможных сценариев возникновения и развития аварий, в том числе связанных с пожарами нефти и нефтепродуктов, и оценки частоты реализации пожароопасных ситуаций базируются на принципах математического моделирования аварий и теории вероятностей.

Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» [14] регламентируют выполнение процедуры количественного анализа риска и определения степени опасности промышленных аварий, в том числе пожаров, на опасных производственных объектах транспорта газа, газового конденсата и подземных хранилищ газа; стандарт содержит перечень основных показателей риска аварии на опасных производственных объектах транспорта газа, газового конденсата и подземных хранилищ газа, а также методики их расчета или оценки; положения представленных в стандарте методик позволяют определять возможные сценарии возникновения и развития аварий, в том числе связанных с пожарами газа, и оценивать частоты реализации пожароопасных ситуаций на опасных производственных объектах транспорта газа, газового конденсата и подземных хранилищ газа; представленные методы определения возможных сценариев возникновения и развития аварий, в том числе связанных с пожарами газа, и оценки частоты реализации пожароопасных ситуаций базируются на принципах математического моделирования аварий и теории вероятностей.

В международной практике исследования сценариев развития пожара широко применяются различные зарубежные стандарты и методики, которые дополняют отечественный подход и позволяют учитывать передовой опыт мировых сообществ. Анализ этих зарубежных источников позволяет выявить

наиболее эффективные методические подходы, которые могут быть адаптированы к российским условиям и интегрированы в национальную систему оценки пожарных рисков. Включение международных стандартов в процесс исследования способствует повышению объективности оценки рисков, улучшению качества сценарного анализа и формированию более надежных и реалистичных рекомендаций по управлению пожарной безопасностью на объектах защиты.

Одним из фундаментальных документов является международный стандарт ISO 16732-1:2012 [42]. Данный стандарт устанавливает основы количественного анализа сценариев пожаров и предоставляет структурированный подход к идентификации потенциальных сценариев возникновения пожара, оценки вероятности их реализации и анализа возможных последствий. Он охватывает широкий спектр вопросов, включая безопасность жизни людей, защиту имущества, обеспечение непрерывности бизнес-процессов, а также защиту окружающей среды и культурного наследия. ISO 16732-1 активно применяется при разработке сценариев пожара и оценке рисков для различных типов объектов.

В США методика исследования сценариев пожара подробно изложена в документах Национальной ассоциации противопожарной защиты (NFPA). Среди них выделяется руководство NFPA 551 [44], которое содержит рекомендации по формализации сценариев пожара, включая идентификацию источников зажигания, анализ распространения огня и оценку последствий каждого сценария. Важным документом является также NFPA 101 [43], устанавливающий требования к сценариям эвакуации при пожарах, системам раннего обнаружения и автоматического пожаротушения, способствующим снижению последствий возможных сценариев.

В европейских странах значимым документом по исследованию сценариев пожара является руководство CEN Europe Guideline No. 4:2010 [40]. Оно описывает методы качественного анализа сценариев пожара, включая использование логико-вероятностного подхода и деревьев событий,

что позволяет визуализировать возможные пути развития пожара и выявить критические точки для принятия эффективных мер по минимизации риска.

В Великобритании применяется британский стандарт PD 7974-7 [45]. Стандарт предоставляет методические рекомендации по количественной и качественной оценке сценариев пожаров, подчеркивая комплексный подход и необходимость анализа каждого этапа развития пожара с учетом вероятностных характеристик и возможных последствий.

Практический опыт в области исследования сценариев развития пожара представлен международными документами, такими как SFPE Engineering Guide. Fire Risk Assessment [46] и CPR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment [41]. Эти документы описывают современные подходы к моделированию и прогнозированию сценариев пожара, проведению аудита противопожарных систем и разработке рекомендаций по предотвращению и смягчению последствий возможных инцидентов.

Сравнительный анализ отечественных и зарубежных подходов показывает, что если российские методики [14, 16, 17, 27, 28] делают акцент на нормативных требованиях и детерминированных расчётах, то международные стандарты [42, 44, 45] предлагают более гибкие вероятностные модели. Однако, как отмечает Якуш С.Е. [39], именно комплексный подход, сочетающий нормативные требования с вероятностной оценкой, является наиболее эффективным.

1.2 Методика и основные показатели при исследовании сценариев развития пожара на объекте защиты

Действующие методики [16] и [17] определяют производить экспертный выбор сценария или сценариев пожара, при которых ожидаются наихудшие последствия для людей.

Формулировка сценария развития пожара включает в себя следующие этапы:

- выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития;
- задание расчетной области (выбор рассматриваемой при расчете системы помещений, определение учитываемых при расчете элементов внутренней структуры помещений, задание состояния проемов);
- задание параметров окружающей среды и начальных значений параметров внутри помещений.

В качестве сценариев с наихудшими условиями пожара следует рассматривать сценарии:

- в помещениях, рассчитанных на одновременное присутствие 50 и более человек;
- в системах помещений, в которых из-за распространения ОФП возможно быстрое блокирование путей эвакуации (коридоров, эвакуационных выходов и так далее); при этом очаг пожара выбирается в помещении малого объема вблизи от одного из эвакуационных выходов, либо в помещении с большим количеством горючей нагрузки, характеризующейся высокой скоростью распространения пламени;
- в помещениях и системах помещений атриумного типа;
- в системах помещений, в которых из-за недостаточной пропускной способности путей эвакуации возможно возникновение продолжительных скоплений людских потоков.

Данные показатели при рассмотрении сценариев развития пожара в зданиях, сооружениях являются базовыми. Например, взяв за основу эти данные, авторы статьи [22] приходят к выводу, что наиболее худшим выбором сценария пожара в многоквартирных жилых домах и гостиницах является сценарий с открытыми дверными проемами в помещения очага пожара и нерабочими системами противопожарной защиты.

Наиболее часто при расчетах рассматриваются три основных вида развития пожара: круговое распространение пожара по твердой горючей нагрузке, линейное распространение пожара по твердой горючей нагрузке, неустановившееся горение горючей жидкости.

Методы исследования развития пожаров базируются на принципах математического моделирования пожаров и теории вероятностей.

Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров и количественной оценки частот реализации пожароопасных ситуаций используются следующие методы:

- метод построения «дерева событий»,
- метод построения «дерева отказов»,
- метод причинно-следственного анализа.

Метод построения «дерева событий» заключается в прослеживании развития событий (начиная от исходного события) с учетом эффективности противодействия систем безопасности вплоть до конечного состояния объекта; в результате прослеживания всех вариантов развития событий выявляются те конечные состояния, которые расцениваются как аварии (пожары). Данный метод, подробно описанный в руководстве Ростехнадзора [27], а также применяемый в международной практике [41, 45], удобен для выявления зависимых (происходящих по общей причине) событий и при анализе последствий таких внешних воздействий, как взрыв, пожар, при которых возможны одновременные отказы нескольких систем безопасности. В то же время он громоздок и потому его обычно применяют для выяснения последствий специфических исходных событий;

При построении логического «дерева событий» возникновения и развития пожаров, используются: условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева событий и перехода пожароопасной ситуации или пожара на ту или иную стадию развития, вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации, или пожара (принимается исходя из

статистических данных или по паспортным данным завода – изготовителя оборудования), вероятность поражения расположенного в зоне пожара технологического оборудования и зданий объекта в результате воздействия на них опасных факторов пожара, взрыва.

Пример логического «дерева событий» возникновения и развития пожара (случай разгерметизации сосудов под давлением) представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пример «дерева событий» возникновения и развития пожара [27]

Метод построения «дерева отказов» основан на обратном (по отношению к предыдущему методу) анализе хода развития событий; процесс анализа начинается с установления вида угрозы (пожара), причины возникновения которой необходимо изучить. Анализ ведется методом последовательного раскрытия сочетаний событий, ведущих к тем или другим отказам (включая отказы систем по общей причине), совокупность которых и ведет к аварии (пожару). Анализ производится до тех элементарных событий, вероятность

которых может быть количественно оценена. Метод эффективен при анализе надежности систем безопасности, в этом случае вершиной «дерева отказов» является отказ системы (невыполнение ею функции безопасности).

Пример дерева отказов возникновения аварии (для линейной части магистрального нефтепровода либо нефтепродуктопровода) представлен на рисунке 2.

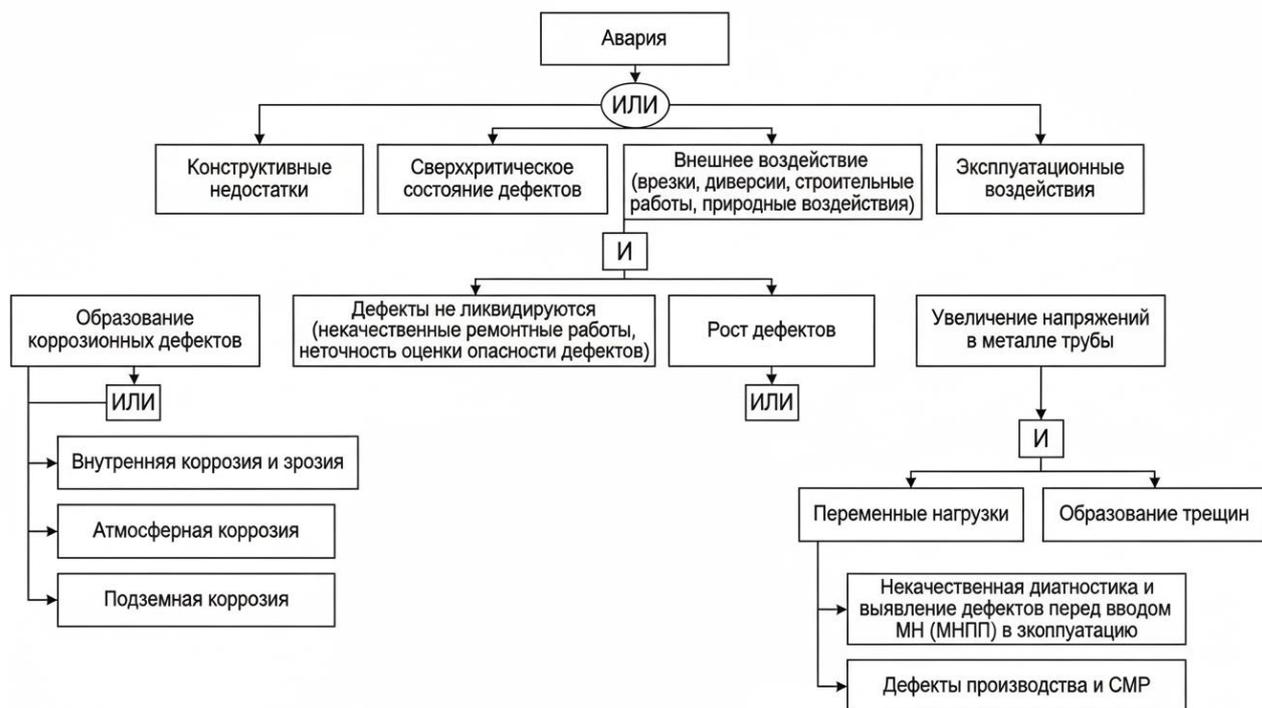


Рисунок 2 – Пример дерева отказов возникновения аварии [28]

Метод причинно-следственного анализа – это метод совместного построения «дерева событий» и «дерева отказов», то есть комбинация двух предыдущих методов, заключающаяся в том, что при обнаружении в «дереве событий» критических ситуаций для установления вероятности отказа системы строится «дерево отказов». Это позволяет установить вероятность развития событий по сценариям, ведущим к авариям (пожарам). Главная задача метода состоит в установлении связей последствий аварий (пожаров) с их причинами. Метод громоздок и применяется в ходе анализа безопасности в ситуациях,

когда логическая схема отказов, ведущих к аварии (пожара), достаточно проста для графического представления.

Основные показатели при исследовании сценариев развития пожара на объекте защиты:

- выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития в зависимости от вида, условий хранения, использования, транспортирования взрывопожароопасных веществ либо материалов;
- частота возникновения пожара либо частота инициирующего события возникновения аварийной ситуации, которая может привести к возникновению пожара;
- условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева событий, на котором сценарий возникновения и развития пожароопасной ситуации (пожара) отражается в виде последовательности событий от исходного до конечного события;
- опасные факторы пожара;
- вероятность эффективного срабатывания средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара;
- вероятность поражения людей в результате воздействия на них опасных факторов пожара;
- объёмно-планировочные решения и конструктивные особенности оборудования, зданий и сооружений объекта.

Процесс выбора места нахождения первоначального очага пожара включает ряд этапов, направленных на выявление потенциальных угроз и уязвимостей. Основные шаги этого процесса: идентификация источников риска – обозначение взрывопожароопасных веществ и материалов; анализ структуры здания, использования помещений и наличия огнестойких материалов; изучение статистики пожаров на подобных объектах и выявление общих признаков, таких как время возникновения, условия и причины;

определение потенциально опасных зон внутри здания или на территории, где может произойти возгорание.

Наибольшее значение при выборе места нахождения первоначального очага пожара – это идентификация взрывопожароопасных веществ и материалов, которые и могут являться очагом пожара. Для выявления взрывопожароопасных свойств веществ и материалов используются различные справочники, основными из которых являются справочники [4], [10] и [12].

Для выбора закономерностей развития пожара можно использовать учебные пособия [2], [15], в которых рассмотрены процессы, приводящие к возникновению и распространению горения, параметры и особенности открытых и внутренних пожаров, а также условия прекращения горения и огнетушащие средства; приведены особенности горения газов и паров горючих жидкостей, горения жидкостей, твердых веществ и материалов.

Для расчета частоты иницирующего события возникновения аварийной ситуации, которой может привести к возникновению пожара на объектах защиты, необходимо располагать статистическими данными о времени существования различных пожаровзрывоопасных событий. Вероятность возникновения пожара (взрыва) определяют на основе показателей надежности элементов объекта, позволяющих рассчитывать вероятность производственного оборудования, систем контроля и управления, а также других устройств, составляющих объект, которые приводят к реализации различных пожаровзрывоопасных событий. Под пожаровзрывоопасными понимают события, реализация которых приводит к образованию горючей среды и появлению источника зажигания.

В частности в упомянутой методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [17], а также в положениях руководства по оценке пожарного риска для промышленных предприятий [5], руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [27],

руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» [28] и методических указаниях по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» [14] представлены данные, полученные на основе обобщения статистической информации, о частотах разгерметизации технологического оборудования (резервуары, трубопроводы, насосы и так далее) с взрывопожароопасными веществами на промышленных объектах. Данные иницирующие события приводят к образованию горючей среды и могут привести к последующему возникновению пожара.

Отдельно необходимо остановиться на понятиях «частота возникновения пожара» и «вероятность возникновения пожара».

«Частота возникновения пожара» в современные нормативные документы РФ по пожарной безопасности была введена в 2006 году, с выходом руководства по оценке пожарного риска для промышленных предприятий [5]. А после вступления в силу Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [37], Правил проведения расчетов по оценке пожарного риска [20] и принятых в их развитие методик [16], [17] этот термин окончательно вошел в обращение. А до этого, в ГОСТ 12.1.004-91 [23], ГОСТ Р 12.3.047-98 (в последствии – ГОСТ Р 12.3.047-2012 [24]) и ряде других документов, использовалось понятие «вероятность возникновения пожара».

Таким образом, в действующих нормативных правовых актах РФ, нормативных документах, научных источниках и методиках в области пожарной и промышленной безопасности принято употреблять перечисленные выше термины, не делая между ними особых различий.

Сведения о частотах возникновения пожаров в производственных и складских зданиях приведены в приложении № 1 к методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [17]. Также данные сведения повторяются в руководства по оценке пожарного

риска для промышленных предприятий [5], в ГОСТ Р 12.3.047-2012 [24] и в различных научных публикациях, в частности в [7].

Кроме того, методика [17] допускает получение информации о частотах реализации пожароопасных ситуаций в производственных и складских зданиях, используя статистические данные пожаров на подобных объектах.

Частоту возникновения пожаров в производственных и складских зданиях возможно определить статистическим методом, а именно методом прогнозирования вероятностей возникновения деструктивных событий [25]. В качестве статистических данных пожаров на территории РФ принято использовать информационно-аналитический сборник «Статистика пожаров и их последствий» [6], в котором приведены показатели, характеризующие состояние пожарной безопасности в РФ (представлена официальный статистический учёт и государственная отчетность по пожарам и их последствиям).

Сведения о частотах возникновения пожаров в зданиях общественного назначения приведены в приложении № 3 к методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [16]. При отсутствии данных в приложении № 3 к методике допускается принимать частоту возникновения пожара равной 4×10^{-2} в год для здания.

К основным факторам пожара в открытом пространстве относятся: тепловое излучение горения вещества (материала), избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаровоздушной смеси и при разрыве сосуда (резервуара).

К основным факторам пожара в зданиях, сооружениях относятся: концентрация токсичных компонентов продуктов горения в помещении, снижение концентрации кислорода в воздухе помещения, задымление атмосферы помещения, среднеобъёмная температура в помещении, расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

Наступление опасных факторов пожара в зданиях, сооружениях напрямую зависит от динамики развития пожара. Наиболее эффективным инструментом прогноза и изучения развития пожаров в зданиях, сооружениях являются детерминированные математические модели [3].

Математические модели пожара в помещении условно делятся на три класса (три вида) от относительно простого к более сложному:

- интегральные,
- зонные,
- дифференциальные или полевые модели.

Классификация математических моделей пожара (интегральные, зонные, полевые), представленная в [3], развивает подходы, изложенные в международных стандартах [42]."

Интегральный (однозонный) метод является наиболее простым методом моделирования пожаров. Суть интегрального метода заключается в том, что состояние газовой среды оценивается через осредненные по всему объему помещения термодинамические параметры. Соответственно температура ограждающих конструкций и другие подобные параметры оцениваются как осредненные по поверхности. Область применения интегрального метода, в которой предсказанные моделью параметры пожара можно интерпретировать как реальные, практически ограничивается объемными пожарами, когда из-за интенсивного перемешивания газовой среды локальные значения параметров в любой точке близки к среднеобъемным. За пределами возможностей интегрального метода оказывается моделирование пожаров, не достигших стадии объемного горения, и особенно моделирование процессов, определяющих пожарную опасность при локальном пожаре.

Зонные математические модели развитие пожара основаны на предположении о формировании в помещении двух слоев: верхнего слоя продуктов горения (задымленная зона) и нижнего слоя невозмущенного воздуха (свободная зона). Таким образом, состояние газовой среды в зональных моделях оценивается через осредненные термодинамические

параметры не одной, а нескольких зон, причем межзонные границы обычно считаются подвижными. Однако при создании зонных моделей необходимо делать большое количество упрощений и допущений, основанных на априорных предположениях о структуре потока. Такая методика не применима в тех случаях, когда отсутствует полученная из пожарных экспериментов информация об этой структуре и, следовательно, нет основы для зонного моделирования. Кроме того, часто требуется более подробная информация о пожаре, чем осредненные по слою (зоне) значения параметров.

Полевые модели, являются более мощным и универсальным инструментом, чем зональные; они основываются на совершенно ином принципе. Вместо одной или нескольких больших зон в полевых моделях выделяется большое количество (обычно тысячи или десятки тысяч) маленьких контрольных объемов, никак не связанных с предполагаемой структурой потока. Для каждого из этих объемов с помощью численных методов решается система уравнений в частных производных, выражающих принципы локального сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов. Таким образом, динамика развития процессов определяется не априорными предположениями, а исключительно результатами расчета. Естественно, что такие модели, по сравнению с интегральными и зональными, требуют значительно больших вычислительных ресурсов.

К средствам предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара относятся: системы пожарной сигнализации, системы автоматического пожаротушения, системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, системы дымоудаления, системы наружного противопожарного водоснабжения, внутренний противопожарный водопровод, противопожарные преграды, первичные средства пожаротушения (огнетушители, пожарные щиты). Вероятность эффективного срабатывания средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара принимается, исходя из статистических данных или по паспортным данным завода-изготовителя оборудования.

Вероятность поражения людей в результате воздействия на них опасных факторов пожара зависит от времени эвакуации людей из зон действия поражающих факторов и времени наступления опасных факторов пожара. Данный показатель определяется по положениям, изложенными в методиках [16], [17].

Объёмно-планировочные решения и конструктивные особенности здания оказывают значительное влияние на развитие пожара, его распространение и возможности эвакуации людей. С точки зрения распространения огня, открытые планировки (большие пространства) могут способствовать быстрому распространению огня и дыма, в то время как разделение на отдельные зоны (секции) и использование стен способно замедлить этот процесс. Для эвакуации людей критически важны ширина и достаточное количество выходов, определяющие скорость эвакуации, а также наличие хорошо спроектированных лестниц и переходов, позволяющих избежать заторов и обеспечить безопасный выход. Пожарная нагрузка напрямую зависит от материалов отделки: использование легко воспламеняющихся материалов увеличивает общий уровень нагрузки, а нерегулярные или недостаточно защищённые противопожарные преграды могут способствовать быстрому распространению огня между помещениями. Устойчивость конструкции определяется применяемыми материалами (сталь, бетон, дерево и др.), имеющими разные характеристики огнестойкости, а также наличием колонн и балок, которые должны быть спроектированы для выдерживания необходимых нагрузок и воздействия огня.

Вывод по разделу 1.

В России основными законодательными документами в области пожарной безопасности являются Федеральные законы и Постановления Правительства, которые формируют рамки для оценки и управления пожарными рисками.

Сценарии пожаров, учитывающие наихудшие условия и различные этапы их развития, играют важную роль в разработке стратегий безопасности.

Оценка рисков пожаров включает всесторонний анализ факторов, влияющих на безопасность зданий и людей, а также применение методик, утверждённых МЧС РФ.

Построение сценариев развития пожара является важной задачей в области пожарной безопасности и защиты населения.

Для исследования сценариев развития пожара используются различные методики и подходы, которые позволяют оценить риски и разработать эффективные меры по предотвращению и ликвидации пожаров. Основные из них – это действующие методические рекомендации МЧС России по оценке пожарных рисков, методы построения «дерева события» и/или построения «дерева отказов» и методы теории вероятностей.

При исследовании сценариев развития пожара выделяются ключевые показатели, влияющие на возникновение и развитие пожара:

- выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития в зависимости от вида, условий хранения, использования, транспортирования взрывопожароопасных веществ либо материалов;
- частота возникновения пожара либо частота инициирующего события возникновения аварийной ситуации, которая может привести к возникновению пожара;
- условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева событий, на котором сценарий возникновения и развития пожара отражается в виде последовательности событий;
- опасные факторы пожара;
- вероятность эффективного срабатывания средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара;
- вероятность поражения людей в результате воздействия на них опасных факторов пожара;
- объёмно-планировочные решения и конструктивные особенности оборудования, зданий и сооружений объекта.

2 Исследование и разработка методического подхода по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара

2.1 Анализ значимости основных показателей, влияющих на возникновение и развитие возможного сценария пожара

В главе 1.2 были рассмотрены основные показатели, влияющие на возникновение и развитие сценариев пожара. Эти показатели формируют основу для анализа рисков, прогнозирования динамики пожаров и разработки мер противопожарной защиты.

Место возникновения первоначального очага пожара определяет начальную точку развития возгорания и влияет на дальнейшее распространение огня [37]. Зависит от характера здания, размещения пожароопасных материалов, технологических процессов и вероятных источников возгорания. Может находиться в складских помещениях, производственных зонах, жилых или общественных зданиях, а также в системах с высокой концентрацией горючих веществ. Определяет первичный сценарий развития пожара и его возможные последствия для эвакуации и локализации.

Частота возникновения пожара отражает вероятность того, что в здании или на объекте защиты произойдет возгорание в течение определенного периода времени. Зависит от эксплуатационных характеристик, уровня пожарной безопасности, частоты отказов оборудования, наличия систем контроля и человеческого фактора. Оценивается на основе статистических данных, анализа инцидентов и исследований пожарной опасности [16]. Высокая частота возникновения пожара увеличивает вероятность его перехода в неконтролируемую стадию.

Условная вероятность реализации сценария развития пожара характеризует вероятность перехода пожара от начального очага к стадии активного распространения и его дальнейшее развитие. Определяется

совокупностью факторов: скоростью срабатывания противопожарных систем, объемом пожарной нагрузки, конструктивными особенностями объекта, наличием эвакуационных путей. Зависит от скорости распространения огня, наличия открытых путей для поступления кислорода и эффективности локализации очага [17]. Если вероятность реализации сценария высока, то возрастает риск значительного ущерба и человеческих жертв.

Опасные факторы пожара включают в себя такие явления, как тепловое излучение, токсичность продуктов горения, задымление, снижение концентрации кислорода, механическое разрушение конструкций, повышенное давление при взрывах [37]. Их воздействие на людей и конструкции зависит от типа горючих материалов, скорости распространения пожара и условий окружающей среды. Основные опасные факторы: высокая температура, огонь, удушающие и токсичные газы, ограничение видимости из-за дыма, обрушение строительных конструкций.

Вероятность эффективного срабатывания систем предотвращения и локализации пожара определяет вероятность того, что автоматические системы пожаротушения, сигнализации, дымоудаления и другие меры защиты сработают своевременно и эффективно. Зависит от надежности оборудования, периодичности его технического обслуживания, соответствия проектным решениям и квалификации персонала. Оценивается с учетом статистики отказов, паспортных характеристик оборудования и уровня его технического состояния [17]. Высокая надежность систем противопожарной защиты снижает вероятность катастрофического развития пожара.

Вероятность поражения людей ОФП определяет риск для здоровья и жизни людей, находящихся в зоне пожара. Зависит от скорости распространения огня, наличия эвакуационных путей, работы систем оповещения, психологического состояния людей в момент возгорания. Оценивается на основе вероятности воздействия теплового потока, токсичных газов, механических повреждений и затрудненной эвакуации [16], [17]. Высокий уровень поражения людей требует усиленных мер защиты, таких как

улучшенные эвакуационные маршруты, эффективное оповещение и дополнительные инженерные решения.

Объемно-планировочные решения и конструктивные особенности здания определяют, насколько быстро и в каком направлении будет распространяться пожар, а также возможность эвакуации людей и тушения возгорания. Включают расположение эвакуационных выходов, коридоров, лестничных клеток, противопожарных преград, вентиляционных каналов. Важно учитывать материалы, из которых построено здание, а также их огнестойкость и способность препятствовать распространению огня. Неправильные архитектурные решения могут значительно ускорить развитие пожара и усугубить его последствия.

Каждый показатель, влияющий на возникновение и развитие сценариев пожара, не является независимым, а оказывает влияние на другие. Важно определить:

- какие показатели являются основополагающими и оказывают наибольшее влияние;
- какие показатели подвержены влиянию и могут изменяться в зависимости от других факторов.

Место возникновения пожара, тип и размер источника зажигания определяют, насколько быстро разовьётся пожар и насколько трудно его будет потушить [15]. Например:

- очаг пожара, расположенный в центре помещения, ускоряет распространение огня во всех направлениях; в то же время, если очаг находится у стены, распространение пламени будет ограничено, что влияет на развитие сценария пожара;
- чем больше площадь источника зажигания, тем быстрее достигается критическая температура, необходимая для распространения пламени на соседние объекты;
- высота расположения очага играет важную роль: очаг, расположенный выше (например, на полках или шкафах), быстрее

вызывает нагрев потолка, что может привести к более быстрому распространению пожара по верхним частям помещения;

- если пожар начался вблизи эвакуационных путей, люди могут оказаться заблокированными;
- легковоспламеняющиеся материалы значительно ускоряют процесс горения, создавая дополнительную тепловую нагрузку;
- плотность размещения материалов влияет на скорость развития пожара, при равномерном распределении горючих веществ пожар распространяется быстрее, чем при их локализованном размещении.

Опасные факторы пожара напрямую связаны с объёмно-планировочными решениями. Например, рассматривая тепловые потоки и их влияние на развитие пожара, авторы статьи [38] приходят к выводу, что в закрытых помещениях значительное влияние оказывает обратный тепловой поток, отражающийся от потолка и стен, что способствует ускоренному разогреву помещения и более быстрому распространению пожара. Интенсивность лучистого теплового потока определяет вероятность воспламенения близлежащих предметов. Чем выше интенсивность, тем быстрее соседние объекты достигают температуры воспламенения.

Кроме того, опасные факторы определяют степень поражения людей и имущества. Они зависят от места возникновения пожара (в закрытых помещениях токсичные продукты горения накапливаются быстрее).

Частота возникновения пожара в первую очередь зависит от места нахождения очага. Определенные зоны объекта (например, складские помещения, производственные цеха, серверные) обладают повышенной частотой возгораний из-за концентрации горючих материалов, электроприборов или технологических процессов [6]. Чем чаще возникают возгорания в конкретной зоне, тем более вероятны повторные случаи в будущем (например, если не устранены причины – неисправность оборудования, несоблюдение противопожарных норм). Статистика показывает [6], что наибольшая частота пожаров характерна для помещений с

высокой пожарной нагрузкой (деревообрабатывающие предприятия, нефтехимические заводы, жилые дома с газовым оборудованием).

Также частота возникновения пожара напрямую влияет на условную вероятность реализации сценария развития пожара: чем выше частота возникновения пожара, тем выше вероятность, что возгорание перерастет в неконтролируемый пожар из-за системных ошибок или неэффективных противопожарных мер.

Эффективная работа противопожарных систем определяет вероятность развития критического сценария развития пожара и вероятность поражения людей и значительного ущерба [39], в частности: работа систем дымоудаления может замедлить накопление токсичных газов и повысить шансы людей на эвакуацию; интенсивный приток воздуха увеличивает скорость горения, так как огонь получает больше кислорода; если вентиляция отсутствует, процесс горения может замедляться, но при этом накапливаются токсичные газы, что повышает опасность задымления и удушья; автоматические системы пожаротушения способны существенно снизить температуру в помещении, замедляя развитие пожара; отсутствие огнезащитных преград между помещениями увеличивает вероятность перехода пожара на соседние комнаты или этажи.

Вероятность поражения людей при реализации сценария развития пожара зависит от опасных факторов пожара – чем они интенсивнее, тем выше риск поражения. Также зависит от эффективности противопожарных систем – если эвакуация организована хорошо, риск поражения людей снижается. Вероятность поражения людей зависит и от объёмно-планировочных решений – если здание плохо спроектировано, эвакуация может быть затруднена, что увеличивает смертельность сценария.

Архитектурные особенности (объёмно-планировочные и конструктивные решения) зданий и сооружений влияют на частоту возникновения пожара, определяет динамику распространения опасных

факторов пожара, влияют на эффективность эвакуации и уровень поражения людей.

Авторы статьи [22], анализируя выбор сценариев пожара в зданиях, сооружениях и строениях классов функциональной пожарной опасности Ф1.3 и Ф1.2, указывают, что на развитие пожара существенно влияют объемно-планировочные и конструктивные решения: в атриумных зданиях высокая конвекция ускоряет распространение огня, в узких коридорах происходит быстрое накопление дыма, а применение горючих отделочных материалов, особенно в конструкциях подвесных потолков, интенсифицирует горение и создает скрытые очаги.

На рисунке 3 представлена схема зависимости показателей, влияющих на сценарий развития пожара, разработанная в рамках данного исследования. Она наглядно демонстрирует, какие факторы оказывают влияние друг на друга.

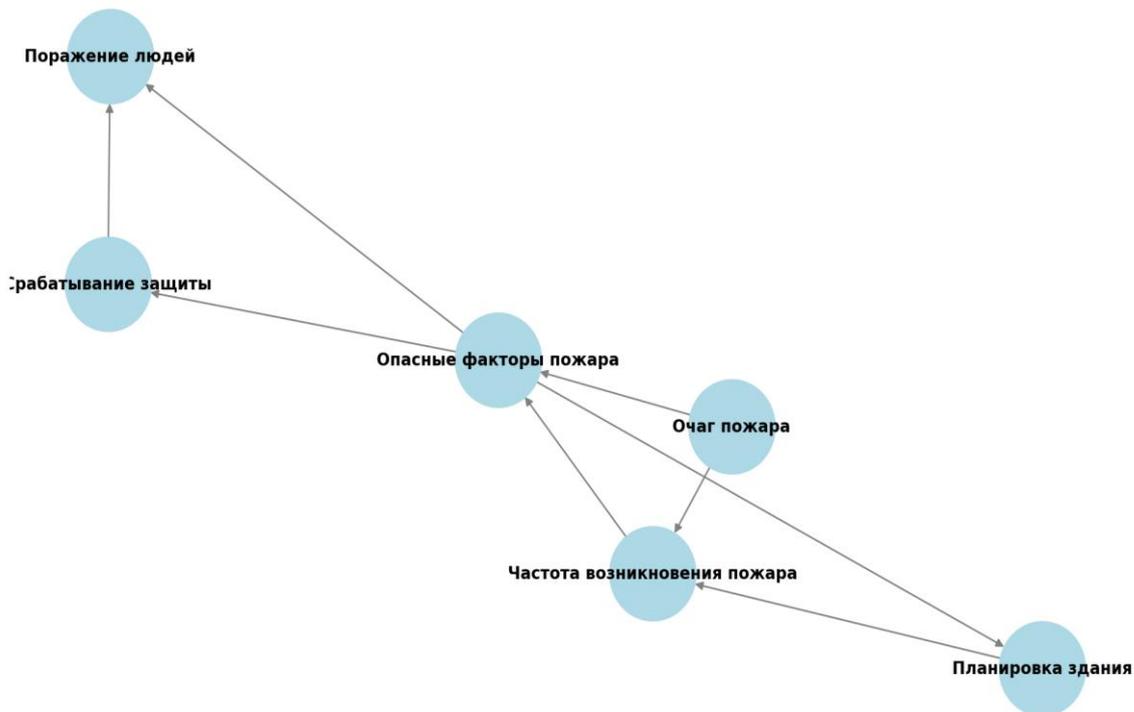


Рисунок 3 – Схема зависимости показателей, влияющих на сценарий пожара

В таблице 1 представлены взаимосвязи между основными показателями, влияющими на развитие сценариев пожара. Оценка влияния выражена условно:

- сильное влияние (↑↑) – один показатель существенно влияет на другой;
- среднее влияние (↑) – влияние есть, но оно не критично;
- слабое влияние (→) – влияние незначительное;
- отсутствие влияния (-) – показатели не оказывают прямого воздействия друг на друга.

Таблица 1 – Условные взаимосвязи между основными показателями, влияющими на развитие сценариев пожара

Показатель	Место возникновения очага пожара	Частота возникновения пожара	Условная вероятность реализации сценария	Опасные факторы пожара	Вероятность срабатывания систем защиты	Вероятность поражения людей	Объемно-планировочные решения
Место возникновения очага пожара	-	↑	↑	↑↑	→	↑↑	↑↑
Частота возникновения пожара	↑	-	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑
Условная вероятность реализации сценария	↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
Опасные факторы пожара	↑↑	↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	↑↑
Вероятность срабатывания систем защиты	→	↑	↑↑	↑↑	-	↑	↑
Вероятность поражения людей	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	-	↑↑
Объемно-планировочные решения	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↑↑	-

Для определения силы влияния между показателями, представленными в таблице 1, был применен метод структурированного экспертного опроса. В исследовании приняла участие группа экспертов в области пожарной

безопасности, включающая сотрудников проектной организации ООО «ИК ЦентрПроект»: два специалиста по расчету пожарных рисков и три проектировщика систем противопожарной защиты

Критериями отбора экспертов являлись: стаж практической работы в области пожарной безопасности не менее 5 лет, участие в реализации проектов для объектов класса Ф4.3.

Процедура оценки силы влияния между парами показателей включала следующие этапы.

Парное сравнение: каждая возможная пара показателей из таблицы 1 оценивалась экспертами независимо друг от друга.

Использование шкалы: для оценки применялась следующая балльная шкалы:

- 3 балла – сильное влияние ($\uparrow\uparrow$);
- 2 балла – среднее влияние (\uparrow);
- 1 балл – слабое влияние (\rightarrow);
- 0 баллов – отсутствие влияния (-).

Математическая обработка: для каждой ячейки будущей матрицы рассчитывался средний балл на основе оценок всех экспертов; итоговое значение силы влияния определялось на основе следующих диапазонов среднего балла:

- 2,5-3,0 балла \rightarrow сильное влияние ($\uparrow\uparrow$);
- 1,5-2,49 балла \rightarrow среднее влияние (\uparrow);
- 0,5-1,49 балла \rightarrow слабое влияние (\rightarrow);
- 0-0,49 балла \rightarrow отсутствие влияния (-).

Верификация результатов: согласованность мнений экспертов оценивалась с помощью коэффициента конкордации Кендалла ($W=0.84$), что свидетельствует о высокой степени согласованности и достоверности полученных данных.

Данный метод позволил перейти от качественных предположений к количественно обоснованной матрице взаимовлияния, представленной в

таблице 1, и обеспечил объективность выявленных связей между ключевыми показателями, влияющими на развитие сценариев пожара.

Копии опросных листов и протокола обработки результатов опроса о взаимосвязях между основными показателями, влияющими на развитие сценариев пожара, представлены в приложении А.

Ранжирование взаимосвязей между показателями проводится на основании анализа требований нормативных и методических документов РФ в области пожарной безопасности, представленных в таблице 2. Это обеспечивает объективность и достоверность взаимозависимостей.

Таблица 2 – Сводная таблица нормативного обоснования для ранжирования зависимостей

Показатель	Нормативные документы и основание ранжирования
Место возникновения очага пожара	Методики определения расчетных величин пожарного риска [16] и [17], Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [37]
Частота возникновения пожара	Методики определения расчетных величин пожарного риска [16] и [17], Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [37], ГОСТ Р 12.3.047-2012 [24]
Условная вероятность реализации сценария	Методики определения расчетных величин пожарного риска [16] и [17], ГОСТ Р 12.3.047-2012 [24]
Опасные факторы пожара	Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [37], ГОСТ 12.1.004-91 [23], СП 1.13130.2020 [33]
Вероятность срабатывания систем защиты	Методики определения расчетных величин пожарного риска [16] и [17], ГОСТ 12.4.009-83 [26]
Вероятность поражения людей	Методики определения расчетных величин пожарного риска [16] и [17], СП 2.13130.2020 [31]
Объемно-планировочные решения	СП 1.13130.2020 [33], СП 2.13130.2020 [31], Методики определения расчетных величин пожарного риска [16] и [17], Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [37], ГОСТ 12.1.004-91 [23]

Важным элементом анализа нормативных и методических документов РФ в области пожарной безопасности является исследование места

возникновения первоначального очага пожара. Согласно положениям методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности [16], место возникновения пожара оказывает непосредственное воздействие на скорость и направления распространения пожароопасных факторов, таких как дым, огневые продукты горения и повышенная температура. Кроме того, методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [17] подчеркивает, что исходная точка возгорания определяет характер и темпы развития чрезвычайной ситуации.

Другим значимым показателем является периодичность возникновения пожара. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [37] устанавливает, что частота пожаров непосредственно влияет на требования к противопожарной защите и порядок применения соответствующих систем. В приложении №1 методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [17] и приложении №3 методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности [16] приведены характерные значения частоты пожаров, которые необходимо учитывать при выборе мер противопожарной защиты и оценки степени потенциальной опасности объекта.

Важным аспектом также является условная возможность реализации конкретного сценария пожара. Данный показатель является основой для прогнозирования последствий возможного пожара, в том числе степени риска для жизни и здоровья людей. ГОСТ Р 12.3.047-2012 [24] дополнительно указывает на необходимость оценки состояния системы защиты и уровня организации планирования противопожарных мероприятий на объекте.

Важную роль играет также оценка влияния факторов пожара на безопасность людей и имущества. Согласно ГОСТ 12.1.004-91 [23], опасные факторы пожара определяют условия безопасной эвакуации людей и

эффективность применяемых систем защиты. СП 1.13130.2020 [33] требует обязательного учета воздействия данных факторов при расчете возможности эффективной эвакуации людей.

Оценка возможности внедрения систем противопожарной защиты является неотъемлемой частью анализа сценариев развития пожара. Методики [16], [17] подчеркивают, что эффективность таких систем напрямую определяет способность своевременно локализовать и ликвидировать пожар. ГОСТ 12.4.009-83 [26] подтверждает, что отказ или несрабатывание противопожарных систем существенно повышает риск для людей и увеличивает масштаб возможного ущерба.

Кроме того, требуется проведение оценки вероятности причинения вреда жизни и здоровью людей при реализации сценариев пожара. Степень опасности для людей определяется суммарным влиянием всех условий окружающей среды, включая интенсивность распространения пожара и надежность функционирования защитных систем. Положения СП 2.13130.2020 [31] учитывают значимость качественного проектирования объемно-планировочных решений, обеспечивающих своевременную эвакуацию и минимизацию рисков.

Наконец, важным аспектом является оценка объемно-планировочных решений объекта защиты. Согласно сводам правил СП 1.13130.2020 [33] и СП 2.13130.2020 [31], именно конструктивные и планировочные характеристики здания влияют на эффективность эвакуации и работу систем противопожарной защиты. Положения технического регламента о требованиях пожарной безопасности [37] акцентируют внимание на необходимости грамотного подхода к проектированию, учитывающего влияние архитектурных особенностей объекта защиты на пожарную безопасность и вероятность реализации опасных сценариев пожара.

Для определения значимости показателей, влияющих на развитие сценариев пожара, используется метод оценивания влияние каждого показателя по шкале значимости от 1 (низкое влияние) до 5 (критическое

влияние). Оценка производится с учётом положений и требований нормативных и методических документов РФ в области пожарной безопасности, указанных в таблице 2.

Оценки ранжируются для построения матрицы значимости. Ранжирование показателей позволяет учесть взаимосвязь и влияние показателей друг на друга.

Критическое влияние (5 баллов) присваивалось показателям, демонстрирующим определяющее воздействие на развитие пожара. Такие показатели характеризуются прямой причинно-следственной связью с ключевыми параметрами пожарной опасности и оказывают решающее влияние на формирование сценариев развития пожара.

Сильное влияние (4 балла) устанавливалось для параметров, оказывающих непосредственное воздействие на динамику развития пожара, но в меньшей степени, чем критические факторы.

Среднее влияние (3 балла) характеризовало показатели с устойчивой связью, проявляющейся через взаимодействие с другими факторами. К данной категории относились параметры, изменение которых вызывает заметные изменения в развитии пожара.

Слабое влияние (2 балла) присваивалось показателям с ограниченным воздействием, реализующимся через сложные цепочки взаимосвязей. Такие параметры характеризуются умеренным влиянием на отдельные аспекты развития пожара.

Минимальное влияние (1 балл) устанавливалось для параметров, демонстрирующих незначительное воздействие на основные показатели пожарной опасности.

Итоговая матрица значимости показателей может иметь вид, представленный в таблице 3.

На основе полученных данных из матрицы производится расчет суммарных значений значимости для каждого показателя. Чем выше сумма баллов, тем выше значимость показателя и приоритетность его учета при

разработке мер противопожарной защиты и оценке рисков возникновения и развития сценариев пожара.

Таблица 3 – Матрица значимости основных показателей, влияющих на развитие сценариев пожара

Показатель / Показатель	Место возникновения очага	Частота возникновения	Условная вероятность реализации сценария	Опасные факторы пожара	Эффективность систем защиты	Вероятность поражения людей	Объемно-планировочные решения
Место возникновения очага	–	2	3	4	2	4	5
Частота возникновения	2	–	5	4	3	3	3
Условная вероятность реализации	3	5	–	5	4	5	4
Опасные факторы пожара	4	4	5	–	4	5	5
Эффективность систем защиты	2	3	4	4	–	5	3
Вероятность поражения людей	4	3	5	5	5	–	5
Объемно-планировочные решения	5	3	4	5	3	5	–

Анализ значимости показателей показал, что наиболее критическими для развития сценариев пожара являются опасные факторы пожара (27 баллов) и вероятность поражения людей (27 баллов). Эти показатели требуют приоритетного внимания при разработке мер пожарной безопасности. Также высокой значимостью обладают условная вероятность реализации сценария (26 баллов) и объемно-планировочные решения (25 баллов), что подтверждает важность конструктивных и организационных мер для ограничения распространения пожара и обеспечения безопасной эвакуации. В то же время место возникновения очага пожара (20 баллов) и частота возникновения (20 баллов) также являются важными, но в меньшей степени влияют на конечный ущерб, чем вышеупомянутые показатели. Эффективность систем защиты (21

балл) играет важную роль, но ее влияние варьируется в зависимости от условий эксплуатации и технического состояния противопожарных систем.

Использование данного методического подхода с опорой на нормативные документы позволяет объективизировать процесс анализа и обеспечить научную обоснованность при принятии управленческих решений в области пожарной безопасности.

2.2 Разработка методического подхода по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара

В предыдущем разделе 2.1 был проведен анализ значимости показателей, влияющих на сценарии возникновения и развития пожара. На основании проведенного анализа выявлено, что наиболее критическими показателями, требующими первоочередного учета, являются опасные факторы пожара и вероятность поражения людей. Однако для всесторонней оценки вероятности сценариев пожара необходимо интегрировать все показатели в единую систему оценки и учитывать их взаимное влияние.

Методический подход по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара предлагается реализовать в следующей последовательности:

Шаг 1: идентификация и ранжирование пожароопасных зон на объекте защиты.

На данном этапе проводится всесторонний и детальный анализ объекта с целью определения зон с повышенной пожарной опасностью. Идентификация пожароопасных зон включает сбор и систематизацию исходной информации, которая охватывает анализ проектной документации объекта, эксплуатационных документов, технологических регламентов и инструкций, а также анализ исторических и статистических данных о произошедших пожарах на аналогичных объектах.

Процесс идентификации начинается с детального обследования объекта, при котором фиксируются участки размещения и хранения горючих, взрывоопасных и пожароопасных веществ и материалов. Важным аспектом является оценка технологических процессов и состояния оборудования, которые могут выступать в качестве потенциальных источников зажигания (электрооборудование, технологические агрегаты, нагревательные элементы и другое).

После проведения обследования и сбора данных выполняется качественная оценка каждого участка объекта, при этом учитываются следующие факторы:

- количество и тип хранящихся веществ и материалов, класс опасности, физико-химические свойства, горючесть и взрывоопасность; для выявления взрывопожароопасных свойств веществ и материалов используются справочники [5], [10] и [12];
- особенности технологических процессов, включая их регулярность и последовательность;
- состояние оборудования и инженерных систем (электроснабжение, вентиляция, системы пожарной защиты);
- наличие потенциальных источников зажигания и вероятность их возникновения; для определения вероятности появления источника зажигания можно использовать подход, изложенный в положениях приложения 3 [23];
- возможность быстрого распространения пожара по объекту с учётом оценки объёмно-планировочных решений; наиболее значимыми решениями, ограничивающими распространение пожара по объекту являются противопожарные преграды, отвечающие требованиям Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [37], СП 2.13130.2020 [31] и СП 4.13130.2013 [32];
- наличие и доступность путей эвакуации и аварийных выходов, отвечающим требованиям Технического регламента о требованиях

пожарной безопасности [37], СП 1.13130.2020 [33], близость очага пожара к местам скопления людей;

- данные о частоте возникновения пожаров на аналогичных объектах, полученные из статистических отчетов [6] и методических указаний [16], [17], [5], [24].

После качественной оценки зон проводится их ранжирование по степени пожарной опасности, присваивая каждой зоне один из уровней:

- высокий уровень пожарной опасности – зоны, характеризующиеся высокой концентрацией горючих и взрывоопасных веществ, частыми и вероятными источниками возгорания, низкой степенью защиты и высокой потенциальной тяжестью последствий;
- средний уровень пожарной опасности – зоны с умеренной концентрацией горючих веществ, средним риском возникновения возгораний и умеренными последствиями;
- низкий уровень пожарной опасности – зоны с незначительным количеством горючих веществ, редкими и маловероятными источниками возгорания, имеющие хорошую защиту и минимальные последствия в случае пожара.

Результатом первого шага является четко структурированный перечень пожароопасных зон объекта с указанием их уровня опасности, что является базой для дальнейших этапов разработки и анализа

Шаг 2: определение и формализация сценариев пожара с учетом наиболее опасных условий.

На втором шаге методического подхода проводится детальное определение и формализация сценариев возникновения и развития пожара, исходя из итогов ранжирования пожароопасных зон, выполненного на первом шаге. Цель этого шага – выявить и сформировать полную последовательность возможных событий от момента инициирования возгорания до стадии его полной реализации или ликвидации, учитывая максимальную вариативность условий, которые могут повлиять на динамику распространения огня и

воздействие опасных факторов. Данный подход отражает положения Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [37] и актуальных методических документов МЧС России по оценке пожарных рисков [16], [17].

Процесс определения сценариев начинается с выбора наиболее опасной зоны (или нескольких зон), имеющей высокую концентрацию горючих и взрывоопасных материалов, повышенную вероятность возгорания вследствие неисправного оборудования, нарушений технологического процесса или человеческого фактора. Для каждой выделенной зоны формируются базовые условия: предполагаемый очаг зажигания, время суток (например, ночное время, когда персонал отсутствует), уровень работоспособности систем противоподымной защиты и автоматического пожаротушения, а также факторы, влияющие на эвакуацию и защиту людей.

Формализация сценария предусматривает последовательное описание ключевых этапов развития пожара. Наиболее важным аспектом является установление первопричины инициирующего события (короткое замыкание электропроводки, несоблюдение регламента обслуживания технологического оборудования, утечка горючих жидкостей, неосторожное обращение с огнем). Далее сценарий описывает динамику распространения огня: физико-химические свойства горючих материалов (их теплотворная способность, температура воспламенения, скорость горения), конструктивные особенности и объемно-планировочные решения помещений (наличие и исправность противопожарных преград, дверей, перегородок, вентканалов), а также эффективность действия автоматических и ручных систем пожарной защиты (пожарной сигнализации, автоматического пожаротушения, противоподымной вентиляции).

Особое внимание уделяется оценке полноты и работоспособности систем безопасности, а именно вероятности отказа (или срабатывания) систем сигнализации и пожаротушения, что регламентируется методиками расчета пожарного риска [16], [17]. Если предполагается отказ одного или нескольких

элементов (к примеру, насосной станции, питающей автоматическую установку пожаротушения, или несвоевременное оповещение о пожаре), вероятность быстрого распространения огня и тяжесть последствий возрастают.

Еще одним важным компонентом является оценка временных характеристик и влияния опасных факторов пожара (огонь, дым, токсичные газы, высокая температура, ограниченная видимость). Здесь анализируется время, через которое критические значения температуры или задымления будут достигнуты, а также то, насколько быстро эти факторы могут сделать эвакуацию персонала затруднительной или невозможной. В сценариях с большим объемом горючей нагрузки температура в помещении способна достичь опасных значений уже в течение первых минут, особенно если двери и проемы остаются открытыми, что соответствует худшим условиям распространения огня.

Кроме того, необходимо обязательно учитывать условия эвакуации людей (размещение выходов, лестниц, ширину коридоров и переходов), а также потенциальные задержки, связанные с обнаружением пожара или паническими реакциями. В соответствии с положениями Правил противопожарного режима в РФ [18], сценарии с заблокированными или затрудненными путями эвакуации, отказом систем дымоудаления и ночным временем суток рассматриваются как наиболее опасные и подлежат первоочередному анализу.

Для каждого формализованного сценария прописываются альтернативные траектории развития пожара в зависимости от работоспособности систем пожарной безопасности и эффективности действий персонала. Один сценарий может предусматривать своевременное срабатывание пожарной сигнализации и успешное ограничение горения, а другой – указывать на поздний пуск автоматической установки пожаротушения или её технический отказ, что приводит к стремительному увеличению площади пожара.

Таким образом, результатом второго шага является развёрнутый набор сценариев пожара, ориентированных на наихудшие условия. В нём описывается как динамика развития пожара (при различных вариантах реагирования систем защиты), так и последствия влияния опасных факторов на людей, оборудование и конструкции здания. Эти сценарии станут основой для количественной оценки вероятности их реализации, матричной оценки рисков и последующего планирования необходимых мер противопожарной защиты.

Шаг 3: оценка вероятности реализации каждого сценария.

На этом этапе проводится количественная оценка вероятности реализации каждого сценария пожара, сформированного на предыдущем шаге, с учётом особенностей рассматриваемого объекта и требований действующих нормативных документов.

Процесс оценки вероятности сценариев может базироваться на методах «дерева событий», «дерева отказов» или их сочетании в рамках причинно-следственного анализа. Применение этих методов регламентировано положениями действующих методических указаний МЧС России по оценке пожарных рисков [16], [17], а также методических указаний нормативно-правовых документов в области промышленной безопасности [14], [27], [28].

При использовании метода «дерева событий» исходным моментом выступает инициирующее событие (возгорание), затем прослеживаются различные ветви развития пожара, зависящие от эффективности срабатывания систем противопожарной защиты (автоматической пожарной сигнализации, систем пожаротушения, систем дымоудаления) и действий персонала. Для каждой ветви рассчитывается условная вероятность, умножаемая на вероятность исходного события, в результате чего получается суммарная вероятность конкретного пути развития сценария.

Метод «дерева отказов» применяется для анализа вероятности отказа технических систем или человеческого фактора, которые могут повлиять на реализацию сценария. На верхнем уровне «дерева отказов» находится целевое

событие (например, неспособность системы пожаротушения сработать при возгорании), а ниже – причины (отказы оборудования по разным причинам, ошибки персонала, отсутствие технического обслуживания). Вероятности элементарных отказов оцениваются на основе статистических данных, справочных пособий и паспортных характеристик.

Комбинированный подход позволяет более точно отразить всю цепочку причин и следствий, устанавливая вероятность как инициирующего события, так и последовательных событий, ведущих к полной реализации пожара, и учитывая вероятность отказа технических систем и человеческих ошибок. Окончательная формула для вероятности сценария принимает вид:

$$P_{\text{сц.}} = P_{\text{возн.}} \times P_{\text{реал.}} \times (1 - P_{\text{сраб.сист.}}), \quad (1)$$

где $P_{\text{сц.}}$ – вероятность реализации определённого сценария пожара;

$P_{\text{возн.}}$ – вероятность возникновения пожара (инициирующего события);

$P_{\text{реал.}}$ – вероятность реализации пожара;

$P_{\text{сраб.сист.}}$ – вероятность срабатывания технических систем противопожарной защиты.

В зависимости от структуры вероятность реализации сценария может быть суммой или произведением нескольких вероятностей перехода между событиями, если анализируется несколько ветвей «дерева событий».

Важно учитывать и поправочные коэффициенты на человеческий фактор, а также учитывать временной фактор при оценке системы оповещения, действий дежурного персонала, времени прибытия пожарных подразделений.

По итогам расчётов для каждого сценария получают числовое значение вероятности, отражающее риск реализации данного варианта развития пожара за определённый временной промежуток (как правило, год или срок эксплуатации оборудования). Полученные значения вероятностей будут

использоваться при построении матрицы оценки пожарных рисков и при определении приоритетности мер по повышению пожарной безопасности.

Шаг 4: составление матрицы оценки пожарных рисков.

На данном этапе формируется матрица оценки пожарных рисков, которая интегрирует в себе вероятности реализации сценариев и тяжесть последствий. Матрица представляет собой двумерную таблицу, в которой по одной оси откладываются классы вероятности сценария (высокая, средняя, низкая), а по другой – тяжесть последствий (высокая, средняя, низкая). Матрица оценки рисков представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Общий вид матрицы оценки рисков

Вероятность / Последствия	Высокая	Средняя	Низкая
Высокая	Очень высокий риск (необходимы немедленные меры)	Высокий риск (необходимы срочные меры)	Средний риск (необходимо наблюдение)
Средняя	Высокий риск (необходимы срочные меры)	Средний риск (необходимо регулярное наблюдение и меры)	Низкий риск (достаточно стандартные меры защиты)
Низкая	Средний риск (необходимо наблюдение)	Низкий риск (меры защиты достаточно)	Незначительный риск (дополнительные меры не требуются)

Критерии для определения вероятности и тяжести случаев возникновения пожара основаны на положениях полуколичественного метода «Анализ вида аварии, последствий и критичности аварии». В частности данный метод рассматривается в приложении 8 методических основ анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах [27].

Вероятность реализации сценария:

- высокие вероятности ($\geq 10^{-2}$) соответствуют частым и вероятным событиям, подтвержденным статистическими данными из методических указаний МЧС России по оценке пожарных рисков [16], [17] и соответствующими пособиями к данным указаниям [1], [8], [9];

- средняя вероятность (от 10^{-4} до 10^{-2}) отображает события с небольшой вероятностью, но всё ещё представляют значимые показатели;
- низкая вероятность (менее 10^{-4}) определяется как событие с очень редкой вероятностью, маловероятное при нормальных условиях эксплуатации.

Тяжесть последствий устанавливается исходя из следующих положений:

- высокая тяжесть – ситуации с высоким риском для жизни и здоровья людей, приводящие к возникновению материального ущерба;
- средняя тяжесть – с вероятностью получения людьми травмы без летального исхода, а также нанесением тяжести высокой тяжести;
- низкая тяжесть – последствия, вызывающие последствия, не представляющие угрозы для здоровья людей и причиняющие небольшой материальный ущерб.

На основании заполненной матрицы производится приоритизация сценариев для дальнейшей разработки и внедрения мер противопожарной защиты.

Шаг 5: разработка мероприятий по снижению пожарного риска.

На пятом этапе разрабатываются конкретные мероприятия, направленные на уменьшение вероятности и/или тяжести последствий пожаров по критическим сценариям, выявленным и оценённым на предыдущих шагах методического подхода.

Процесс формирования мероприятий начинается с анализа факторов, показавших наибольшее влияние на вероятность реализации и тяжесть последствий пожароопасных сценариев. На этапе расчётов (шаг 3) и составления матрицы риска (шаг 4) выясняется, какие именно элементы пожарной безопасности требуют усиления.

Технические мероприятия: совершенствование систем обнаружения пожара (установка более надежных и современных датчиков дымовых или тепловых извещателей), модернизация автоматических систем

пожаротушения, улучшение систем противодымной вентиляции (с внедрением дополнительного оборудования или выделением независимых зон).

Конструктивные и объёмно-планировочные мероприятия: установка или укрепление противопожарных преград, дверей, люков; расширение коридоров и лестничных клеток для эвакуации; введение дополнительных эвакуационных выходов, особенно в зонах, подверженных быстрому распространению опасных факторов пожара; использование материалов с более высокой огнестойкостью в отделке и конструкциях;

Организационные мероприятия: разработка и актуализация инструкций по действиям персонала при пожаре, проведение дополнительных учений и тренировок по эвакуации, назначение ответственных лиц за пожарную безопасность в наиболее опасных зонах; внедрение строгих процедур контроля за соблюдением режимных мероприятий (проверка исправности электрооборудования, соблюдение технологических регламентов);

Мероприятия по повышению культуры и уровня знаний в области пожарной безопасности: регулярные инструктажи и обучение персонала способам тушения и эвакуации, пропаганда культуры безопасного поведения; аудит противопожарного состояния объекта с приглашением независимых экспертов для выявления скрытых проблем.

Выбор конкретных мер осуществляется с опорой на оценку эффективности (насколько то или иное решение снижает вероятность и/или тяжесть последствий пожара) и на затраты (как финансовые, так и временные). Приоритет при разработке мероприятий отдаётся тем решениям, которые обладают наилучшим соотношением «эффективность/затраты» и обеспечивают максимально возможное снижение рисков.

Кроме того, учитываются регламентные требования по периодическому пересмотру и актуализации мер пожарной безопасности. При необходимости вносятся поправки в проектную документацию, в планы противопожарных

мероприятий и производственные инструкции, а также в программы обучения персонала.

Результатом шага 5 становится согласованный комплекс мероприятий, включающий технические, организационные и конструктивные решения, рассчитанный на снижение пожарных рисков по критическим сценариям до приемлемого уровня. Эти предложения передаются для последующей реализации ответственным должностным лицам или руководству организации. Далее проводится оценка эффективности внедрённых мер и пересмотр уровня пожарного риска.

Шаг 6: оценка эффективности разработанных мероприятий.

На завершающем этапе методического подхода проводится анализ того, насколько предложенные на предыдущем шаге меры способствуют снижению пожарных рисков и достижению приемлемого уровня безопасности. Процедура оценки эффективности мероприятий включает в себя:

- сопоставление фактических результатов с расчетными показателями: на этапе разработки мероприятий (шаг 5) каждое решение сопровождалось расчетом ожидаемого снижения вероятности и/или тяжести последствий для наиболее критичных сценариев; после внедрения мер повторно производится количественная или полуколичественная оценка вероятности сценариев и масштабов возможных последствий, чтобы определить степень изменения показателей риска;
- экспертиза достигнутого уровня риска: итоговые показатели сопоставляются с допустимыми критериями пожарной безопасности, установленными в законодательстве [37]; если уровень риска остается выше допустимого, разрабатываются дополнительные меры или корректируется план внедрения уже предложенных решений;
- принятие управленческих решений о дальнейших действиях: если риск снижен до приемлемого уровня, мероприятия считаются эффективными; в противном случае планируется комплекс

дополнительных решений либо повторный пересмотр проектных решений и организационных мероприятий.

Таким образом, завершающий этап методического подхода позволяет объективно удостовериться, что внедренные меры по снижению пожарного риска дали ожидаемый результат и соответствуют требованиям законодательства в сфере пожарной безопасности.

Процедура верификации эффективности реализованных мероприятий включает комплексный анализ достигнутых показателей безопасности, который проводится с использованием тех же инструментов и критериев, что и на начальных этапах оценки. Это обеспечивает сопоставимость результатов и позволяет количественно оценить степень улучшения ситуации.

В рамках итоговой оценки проводится повторное обследование объекта защиты, включающее инструментальные измерения параметров работы систем противопожарной защиты, хронометрирование эвакуации, проверку выполнения организационно-технических мероприятий. Полученные данные сравниваются не только с нормативными значениями, но и с исходными показателями, зафиксированными до начала реализации мероприятий. Такой подход позволяет оценить не только текущее состояние объекта, но и динамику улучшения показателей пожарной безопасности.

При необходимости внесения корректировок цикл анализа повторяется, обеспечивая непрерывное совершенствование уровня защиты объекта.

Циклическая реализация методики (оценка - планирование - внедрение - контроль - корректировка) соответствует принципам процессного подхода к управлению пожарной безопасностью и обеспечивает последовательное накопление положительных изменений.

В таблице 5 представлено соответствие между этапами предлагаемой методики, конкретными методами их выполнения и нормативными документами, регламентирующими каждый этап. Такой подход обеспечивает нормативную обоснованность методики и ее практическую применимость.

Таблица 5 – Методы и нормативная база для этапов оценки пожарных рисков

Этап методического подхода	Используемые методы и инструменты	Нормативно-методическое обеспечение
1. Идентификация и ранжирование пожароопасных зон	Натурное обследование, анализ проектной документации, статистический анализ, экспертные оценки	СП 1.13130.2020 [33], СП 2.13130.2020 [31], ФЗ № 123-ФЗ [37], методики МЧС России № 1140, 533 [16], [17]
2. Определение и формализация сценариев пожара	Построение деревьев событий, анализ «наихудшего сценария», моделирование развития пожара	ГОСТ Р 51901.10-2009 [13], руководство Ростехнадзора № 387 [27], методики МЧС России № 1140, 533 [16], [17]
3. Оценка вероятности реализации сценариев	Вероятностный анализ, статистические методы, расчет частот отказов	ГОСТ Р 12.3.047-2012 [24], методики МЧС России № 1140, 533 [16], [17], пособия ВНИИПО к методикам МЧС [1], [8], [9], руководство Ростехнадзора № 387 [27]
4. Составление матрицы оценки пожарных рисков	Матричный анализ рисков, полуколичественные методы оценки, критерии приемлемости риска	Федеральный закон № 123-ФЗ [37], ГОСТ Р 51901.10-2009 [13], методики МЧС России № 1140, 533 [16], [17]
5. Разработка мероприятий по снижению риска	Анализ «затраты-эффективность», технико-экономическое обоснование, экспертные оценки	СП 3.13130.2009 [35], СП 484.1311500.2020 [36], СП 486.1311500.2020 [34], правила противопожарного режима в РФ [18]
6. Оценка эффективности мероприятий	Сравнительный анализ рисков, верификация расчетов, контрольные обследования	методики МЧС России № 1140, 533 [16], [17], ГОСТ Р 12.3.047-2012 [24], Федеральный закон № 123-ФЗ [37]

Вывод по разделу 2.

В данной главе выполнен комплексный анализ ключевых показателей, влияющих на возникновение и развитие пожаров, а также разработан методический подход к их количественной оценке. Определены наиболее значимые факторы (опасные факторы пожара, вероятность поражения людей при пожаре), показана взаимосвязь всех выявленных факторов, влияющих на сценарии возникновения и развития пожара. На основе изучения нормативных документов и методических рекомендаций предложен шестишаговый алгоритм оценки вероятности возникновения и развития возникновения сценария пожара, включающий идентификацию пожароопасных зон, формализацию случаев возгорания, оценку вероятности реализации сценария,

построение матрицы рисков и разработку мер по снижению пожарной опасности.

Предложенный методический подход позволяет оценивать причины возникновения и развития сценариев пожаров, учитывать взаимное влияние факторов, а также разрабатывать меры по снижению рисков. Его применение может повысить точность прогнозирования пожарной опасности и повысить уровень защищённости объектов от возникших пожароопасных ситуаций.

Выполненная работа создаёт теоретическую и методическую основу для практического внедрения вероятностного подхода в системе управления пожарной безопасностью. Разработанная методика будет апробирована в следующем разделе диссертации, где будет проведена ее практическая реализация и проверка на конкретном объекте защиты, что позволит оценить её действенность и адаптивность к реальным условиям эксплуатации.

3 Апробация методического подхода по оценке вероятности возникновения и развития сценариев пожара

3.1 Технология апробации разработанного методического подхода

Апробация методического подхода по оценке вероятности сценариев развития пожара представляет собой завершающий и наиболее прикладной этап исследования. Важно не только разработать формальный алгоритм анализа, но и проверить его применимость в реальных условиях на конкретном объекте, обладающем характерными чертами, типичными для офисных зданий массовой застройки. В качестве объекта апробации выбрана проектная организация ООО «ИК ЦентрПроект». Выбор обоснован тем, что объект соответствует классу функциональной пожарной опасности Ф4.3, а его конструктивные, планировочные и эксплуатационные характеристики позволяют получить объективные и воспроизводимые результаты.

ООО «ИК ЦентрПроект» – проектная организация, располагается в офисных помещениях здания делового центра по адресу: РФ, Кемеровская область-Кузбасс г. Кемерово, ул. Институтская, д.1.

Компания специализируется на разработке проектно-сметной документации для объектов капитального строительства и выполнении инженерных изысканий. В организации работает инженерно-технический персонал, включая специалистов по проектированию систем противопожарной защиты. Помещения компании характеризуются высокой концентрацией оргтехники, проектного оборудования и архивной документации, что формирует значительную пожарную нагрузку.

Офисные помещения ООО «ИК ЦентрПроект» находятся на третьем и четвёртом этажах части здания. Данная часть здания выделена в отдельный пожарный отсек.

Часть здания делового центра – отдельный пожарный отсек (далее – здание), в котором располагаются офисные помещения

ООО «ИК ЦентрПроект», отнесена к классу функциональной пожарной опасности Ф4.3, II степени огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности – С0, имеет четыре надземных этажа.

Общая численность персонала ООО «ИК ЦентрПроект» (3 и 4 этажи) составляет 100 человек. Кроме персонала ООО «ИК ЦентрПроект» в здании находится персонал других организаций (1 и 2 этажи) максимальной ориентировочной численностью 130 человек. Время нахождения персонала в здании с 8-00 до 18-00.

Максимальные размеры здания в плане: 55,5×15,8 м. Высота этажа – 4 м.

На каждом этаже располагаются офисные помещения, технические помещения, санузлы. Здание коридорного типа с двумя лестничными клетками типа Л1.

Наружные стены, внутренние стены и перегородки здания выполнены из кирпича. Перекрытия – железобетонные плиты. Лестницы – железобетонные.

С первого этажа предусмотрено два эвакуационных выхода, ведущих непосредственно наружу. Со второго, третьего и четвертого этажей предусмотрено по два эвакуационных выхода в лестничные клетки.

На объекте предусмотрены следующие системы противопожарной защиты: система пожарной сигнализации и система оповещения и управления эвакуацией 2-го типа.

В проёмах между техническими помещениями и коридорами установлены противопожарные двери с нормируемым пределом огнестойкости. Двери на входах в лестничные клетки предусмотрены открывающимися по направлению эвакуации, оборудованы приспособлениями для самозакрывания и с уплотнением в притворах.

Все этажи оснащены первичными средствами пожаротушения (огнетушители).

Для отделки путей эвакуации используются только негорючие материалы.

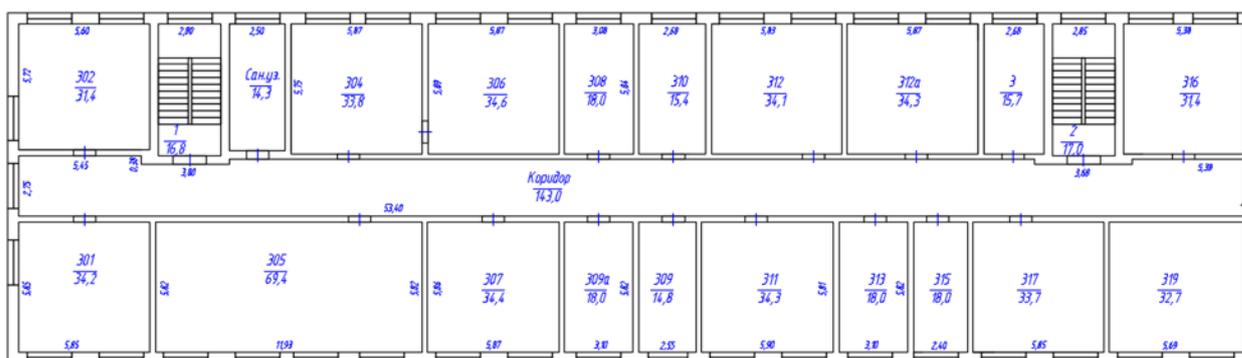
Горючая нагрузка в здании соответствует функциональному назначению помещений.

К зданию предусмотрены проезды, обеспечивающие подъезд пожарной техники и подъем персонала пожарных подразделений и пожарно-технического вооружения на этажи и на кровлю здания, а также доступ к источникам противопожарного водоснабжения.

Организован круглосуточный мониторинг противопожарного состояния зданий и территории объекта посредством дежурства/патрулирования сотрудниками службы безопасности с применением систем видеонаблюдения объекта.

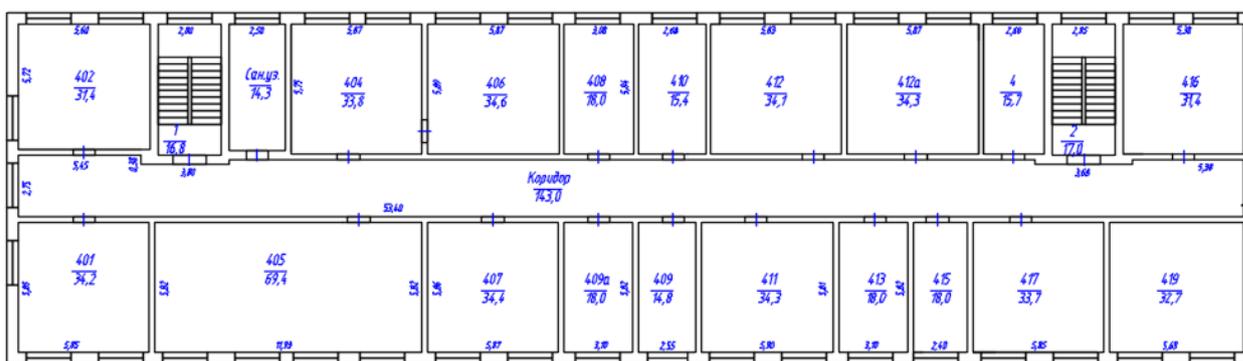
Конструктивные особенности исследуемого объекта соответствуют типовым решениям для зданий класса Ф4.3, описанным в [31, 33], что позволяет рассматривать его как репрезентативный пример.

Поэтажный план офисных помещений ООО «ИК ЦентрПроект» с указанием количества персонала по каждому помещению предоставлен на рисунках 4 и 5.



Наименование помещения	Площадь помещения, м ²	Количество персонала, чел	Наименование помещения	Площадь помещения, м ²	Количество персонала, чел
Кабинет № 301	34,2	2	Кабинет № 311	34,3	5
Кабинет № 302	31,4	3	Кабинет № 312	34,1	4
Кабинет № 304	33,8	4	Кабинет № 312a	34,3	1
Кабинет № 305	69,4	8	Кабинет № 313	18,0	1
Кабинет № 306	34,6	3	Кабинет № 315	18,0	1
Кабинет № 307	34,4	2	Кабинет № 316	31,4	5
Кабинет № 308	18,0	1	Кабинет № 317	33,7	3
Кабинет № 309	14,8	1	Кабинет № 319	32,7	4
Кабинет № 309a	18,0	1	Техническое помещение	15,7	0
Кабинет № 310	15,4	1			

Рисунок 4 – План 3-го этажа исследуемого объекта



Наименование помещения	Площадь помещения, м ²	Количество персонала, чел	Наименование помещения	Площадь помещения, м ²	Количество персонала, чел
Кабинет № 401 (переговорная)	34,2	0	Кабинет № 411	34,3	4
Кабинет № 402 (комната приема пищи)	31,4	0	Кабинет № 412	34,1	4
Кабинет № 404	33,8	4	Кабинет № 412a	34,3	4
Кабинет № 405	69,4	9	Кабинет № 413	18,0	2
Кабинет № 406	34,6	4	Кабинет № 415	18,0	2
Кабинет № 407	34,4	4	Кабинет № 416	31,4	3
Кабинет № 408	18,0	2	Кабинет № 417	33,7	2
Кабинет № 409	14,8	1	Кабинет № 419	32,7	3
Кабинет № 409a	18,0	1	Техническое помещение	15,7	0
Кабинет № 410	15,4	1			

Рисунок 5 – План 4-го этажа исследуемого объекта

Подготовительный этап является ключевым в процессе апробации методического подхода, так как достоверность входных данных напрямую влияет на корректность построения сценариев пожара и последующих расчётов. На данном этапе осуществлялся систематический сбор, анализ и структурирование информации о здании, инженерных системах, характеристиках персонала и противопожарных мероприятиях, реализованных на объекте.

В первую очередь была изучена документация, включающая:

- архитектурно-строительные чертежи (поэтажные планы, разрезы, экспликации помещений);
- схемы эвакуации, размещённые на этажах;
- данные о системах противопожарной защиты, указанные в техническом паспорте здания.

С целью уточнения текущего состояния систем противопожарной защиты и эксплуатационных условий были проведены натурные обследования помещений, в ходе которых оценивались:

- состояние путей эвакуации (ширина, наличие препятствий, маркировка);
- наличие и исправность первичных средств пожаротушения;
- работа систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), системы пожарной сигнализации (СПС), а также противопожарных дверей;
- доступность источников внутреннего и наружного противопожарного водоснабжения.

Особое внимание уделялось помещениям:

- с повышенной плотностью размещения людей (например, рабочие кабинеты с численностью более 7 человек);
- в которых используются бытовые нагревательные приборы (кухонная зона, помещения с чайниками и микроволновыми печами);
- техническим помещениям, где возможны скрытые процессы самовозгорания или неисправности инженерных систем.

Сбор информации осуществлялся с опорой на требования следующих нормативных документов:

- «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [37], «Правила противопожарного режима в РФ» [18] – в части общей нормативной базы;
- СП 1.13130.2020 [33] – в отношении путей эвакуации и размещения персонала;
- СП 2.13130.2020 [31], СП 4.13130.2013 [32] – в части конструктивных и объемно-планировочных характеристик здания;
- СП 3.13130.2009 [35], СП 8.13130.2020 [30], СП 10.13130.2020 [29], СП 484.1311500.2020 [36] СП 486.1311500.2020 [34] – по составу и расположению систем противопожарной защиты.

Первый шаг разработанного методического подхода направлен на точную идентификацию и ранжирование пожароопасных зон с учётом всех существенных факторов пожароопасности. Это особенно важно для офисных объектов, таких как ООО «ИК ЦентрПроект», где сосредоточено большое количество людей и значительная горючая нагрузка.

На этапе сбора и анализа исходных данных были детально изучены предоставленные поэтажные планы 3-го и 4-го этажей здания ООО «ИК ЦентрПроект», на которых отражены номера кабинетов, площади помещений и количество персонала, находящегося в них в дневное время.

На основании изученных данных были выявлены помещения с:

- высокой плотностью персонала (более 4 человек);
- значительной площадью и высокой потенциальной горючей нагрузкой (мебель, документы, оргтехника);
- близким расположением к путям эвакуации.

Каждое помещение было оценено с точки зрения ключевых факторов пожароопасности, которые представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Факторы пожароопасности для исследуемого объекта

Критерий оценки	Описание и влияние на пожароопасность
Плотность размещения людей	Более высокая плотность увеличивает риск поражения людей и усложняет эвакуацию.
Наличие горючей нагрузки	Бумага, мебель, пластиковые элементы, которые способствуют распространению пожара.
Потенциальные источники зажигания	Электрооборудование, бытовая техника, компьютеры, электронагревательные приборы.
Близость к путям эвакуации	Возможность блокирования путей эвакуации при возгорании.

На основании данных критериев на 3-м этаже были идентифицированы следующие группы помещений:

а) высокая степень пожароопасности:

- 1) кабинет №305 (69,4 м², 8 человек): высокая плотность персонала, наличие большого количества оргтехники, бумаги и мебели;

б) средняя степень пожароопасности:

- 1) кабинет №304 (33,8 м², 4 человека): умеренная плотность, оргтехника и документы;
- 2) кабинет №311 (34,3 м², 5 человек): умеренная плотность и значительная горючая нагрузка;
- 3) кабинет №317 (33,7 м², 3 человека): умеренная плотность и горючая нагрузка;

в) низкая степень пожароопасности:

- 1) остальные кабинеты: малая, умеренная плотность и низкая нагрузка.

На 4-м этаже аналогичным образом были выделены следующие помещения:

а) высокая степень пожароопасности:

- 1) помещение №402 (комната приёма пищи): высокая пожароопасность обусловлена частым использованием электронагревательных приборов (микроволновые печи, электрочайники), наличием значительной горючей нагрузки (кухонная мебель, упаковка, пластиковые элементы бытовых приборов), высоким риском человеческого фактора (оставленные включёнными приборы, нарушение правил эксплуатации);

б) средняя степень пожароопасности:

- 1) кабинет №405 (69,4 м², 9 человек): умеренная пожароопасность обусловлена плотностью сотрудников и наличием умеренной горючей нагрузки;

в) низкая степень пожароопасности:

- 1) остальные кабинеты: малая, умеренная плотность и низкая нагрузка.

На основе выполненного анализа на рисунках 6 и 7 предоставлены планы пожароопасности с указанием каждой зоны, степени риска и количества персонала.

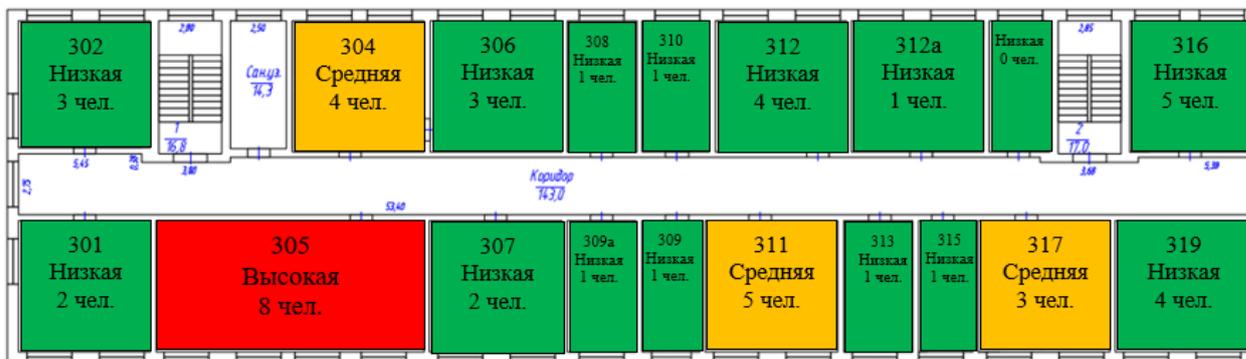


Рисунок 6 – Пожароопасность помещений 3-го этажа исследуемого объекта

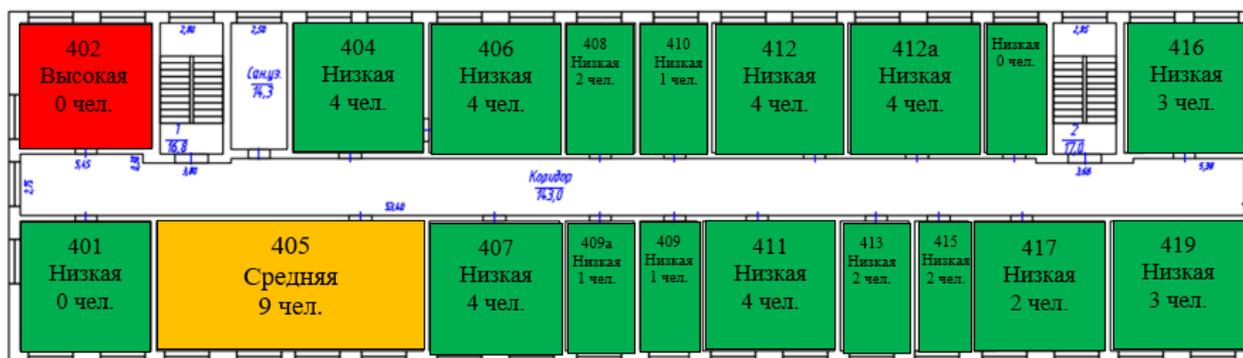


Рисунок 7 – Пожароопасность помещений 4-го этажа исследуемого объекта

На данном этапе методики была выполнена чёткая классификация помещений ООО «ИК ЦентрПроект» по степени пожарного риска. Особое внимание уделено помещениям с высокой степенью пожароопасности (№305 на 3-м этаже, №402 на 4-м этаже), которые будут использованы для детального анализа и формализации сценариев возникновения и развития пожара на следующем этапе исследования.

После идентификации и ранжирования пожароопасных зон следующим важнейшим этапом методики является определение и подробная формализация сценариев возникновения и развития пожара. Формализация

сценариев необходима для точного понимания возможных путей развития чрезвычайной ситуации и последующей разработки эффективных мер по её предотвращению или минимизации последствий.

На основе данных, полученных в ходе выполнения шага 1, были выбраны три наиболее вероятных и опасных сценария пожара, которые характеризуются различными условиями и особенностями возникновения и распространения ОФП.

Сценарий № 1: Возгорание в кабинете №305 (3 этаж, рабочее время).

Иницилирующее событие: короткое замыкание или электрический дефект в оргтехнике (принтер, компьютер), расположенной в помещении с высокой плотностью персонала.

Исходные условия и предпосылки:

- численность персонала – 8 человек;
- дверь в кабинет №305 открыта, что способствует быстрому распространению продуктов горения;
- большое количество горючих материалов (бумага, оргтехника, мебель).

Хронология развития сценария:

- возникновение короткого замыкания в компьютерной технике → начало скрытого тления изоляции проводов → выделение дыма;
- образование устойчивого очага горения → активное дымообразование;
- срабатывание автоматической пожарной сигнализации → передача сигнала на пульт охраны;
- начало организованной эвакуации персонала → дым распространяется в коридор через открытую дверь, частично блокируя пути эвакуации;
- прибытие ответственного лица по пожарной безопасности → попытки тушения огнетушителями → дальнейшее распространение огня на мебель и документацию.

Факторы неопределённости и возможные отказы систем: задержка срабатывания СПС совместно с СОУЭ и возможная паника среди персонала, что может усложнить эвакуацию.

Оценка потенциальных последствий: высокий риск поражения сотрудников продуктами горения, значительные материальные убытки из-за потери оргтехники и документации, возможна остановка рабочего процесса на значительное время.

Сценарий № 2: Пожар в помещении №402 (4 этаж, комната приёма пищи, дневное время).

Иницилирующее событие: возгорание бытового электронагревательного прибора (электрочайник, микроволновая печь, кофемашина), вызванное его перегревом или неправильной эксплуатацией.

Исходные условия и предпосылки:

- в помещении №402 часто используется бытовая электронагревательная техника;
- высокая горючая нагрузка: кухонная мебель, упаковки, пластик, текстиль;
- периодическое отсутствие контроля за работой электроприборов сотрудниками.

Хронология развития сценария:

- возгорание пластиковых элементов электроприбора при его перегреве;
- распространение огня на кухонную мебель и упаковочные материалы, активное дымовыделение;
- срабатывание автоматической пожарной сигнализации → передача сигнала на охрану;
- начало распространения дыма в коридор → блокирование основных путей эвакуации → начало эвакуации сотрудников → сложности из-за высокой задымлённости;

- прибытие охраны → попытки локализации огня первичными средствами пожаротушения;
- прибытие пожарных подразделений и локализация пожара.

Факторы неопределённости и возможные отказы систем: несвоевременное обнаружение возгорания сотрудниками, несвоевременное срабатывание СПС совместно с СОУЭ, сложности эвакуации персонала из-за задымления коридоров.

Оценка потенциальных последствий: серьёзные последствия для здоровья сотрудников из-за задымления, значительный материальный ущерб от повреждения помещения, оборудования и мебели, длительное прекращение рабочего процесса.

После подробной формализации потенциальных сценариев развития пожара следующим важным этапом является построение «деревьев событий», отражающих пошаговое развитие каждого из выделенных сценариев.

Построение «дерева событий» осуществляется на основе логико-вероятностного подхода. Каждое дерево отражает последовательность возможных событий, начиная от первичного (инициирующего) и далее – через различные промежуточные этапы до окончательных последствий. Для каждого события, представленного в виде узла дерева, устанавливается условная вероятность.

Построение «дерева событий» по сценарию № 1 (Кабинет №305, 3 этаж).

Иницирующее событие: короткое замыкание в оргтехнике.

Последовательность событий (узлы дерева):

- возникновение короткого замыкания: переход к следующему событию, так как это исходное событие;
- развитие устойчивого горения/самозатухание: если устойчивое горение не возникло, сценарий прекращается;
- срабатывание системы СПС совместно с СОУЭ: своевременное срабатывание либо срабатывание с задержкой (отказ);

- дверь кабинета открыта/закрыта: при открытой двери – распространение дыма в коридор;
- начало эвакуации: организованная эвакуация или паника (сложности эвакуации).

Точные статистические данные о частоте коротких замыканий в офисных помещениях в России ограничены. Однако, общая информация свидетельствует о значительной роли неисправностей электропроводки в возникновении пожаров. Согласно статистическим данным [6], значительная часть пожаров происходит по причине короткого замыкания.

Для определения вероятности возникновения короткого замыкания в офисных помещениях в рамках конкретной организации ООО «ИК ЦентрПроект» применяется подход, основанный на выявлении факторов риска короткого замыкания и анализе весовых коэффициентов каждого фактора.

Основными факторами риска короткого замыкания в оргтехнике принимаются: возраст и техническое состояние оргтехники (старые устройства имеют изношенные кабели, блоки питания), качество электропитания (скачки напряжения, отсутствие ИБП, заземления), эксплуатационные условия (пыль, влажность), интенсивность использования (постоянная работа устройств без выключения, перегрев), сервисное обслуживание (наличие/отсутствие регулярной чистки и профилактики).

Каждому фактору риска присваивается весовой коэффициент (значимость) методом экспертных оценок, где 0 – незначительный фактор, 1 – максимально значимый фактор.

Далее каждому фактору присваивается оценка состояния по шкале от 0 до 1, где 0 – отличное состояние (риск минимален), 0,25 – хорошее состояние (низкий риск), 0,5 – удовлетворительное (средний риск), 0,75 – неудовлетворительное (высокий риск), 1 – критическое состояние (риск очень высок). Оценку состояния факторов проводится на основе визуального осмотра, анализа документации и отчетов по техобслуживанию и ремонту.

Проводится расчёт показателя риска короткого замыкания по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^n (K_i \cdot R_i), \quad (2)$$

где P –показатель вероятности возникновения короткого замыкания;

K_i – весовой коэффициент значимости i -го фактора;

R_i – оценка состояния i -го фактора;

n – число учитываемых факторов.

Результаты расчета интегрального показателя вероятности возникновения короткого замыкания в оргтехнике при реализации сценария № 1 (Кабинет №305, 3 этаж) представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Расчетные показатели вероятности короткого замыкания при реализации сценария №1

Фактор	Весовой коэффициент	Оценка состояния	Произведение
Возраст и техническое состояние оргтехники	0,3	0,5 (средний возраст устройств – 5 лет)	0,15
Качество электропитания	0,25	0,25 (есть ИБП, но нет общего заземления)	0,0625
Условия эксплуатации	0,15	0,25 (нормальные)	0,0375
Интенсивность использования	0,2	0,5 (офис работает 9 ч/день, техника почти не выключается)	0,1
Сервисное обслуживание	0,1	0,25 (уборка поверхностей, но нет регулярной внутренней чистки)	0,025
Вероятность возникновения короткого замыкания	$P=(0,3 \cdot 0,5)+(0,25 \cdot 0,25)+(0,15 \cdot 0,25)+(0,2 \cdot 0,5)+(0,1 \cdot 0,25)=$ $=0,15+0,0625+0,0375+0,1+0,025=0,375$		

Вероятность эффективной работы системы СПС совместно с СОУЭ при реализации сценария пожара определяется, согласно положениям действующих методических указаний МЧС России по оценке пожарных рисков [16], [17] по формуле:

$$P = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - P_k) = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,8) = 0,64, \quad (3)$$

где K - число технических средств противопожарной защиты.

$P_1 = 0,8$ - вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи) системы пожарной сигнализации, при сценарии пожара для помещения здания.

$P_2 = 0,8$ - вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи) системы автоматического оповещения о пожаре, при сценарии пожара для помещения здания.

Вероятности развития остальных ветвей «дерева событий» консервативно принимаются 0,5.

«Дерево событий» для количественной оценки вероятности реализации сценария № 1 (Кабинет №305, 3 этаж) представлено на рисунке 8.

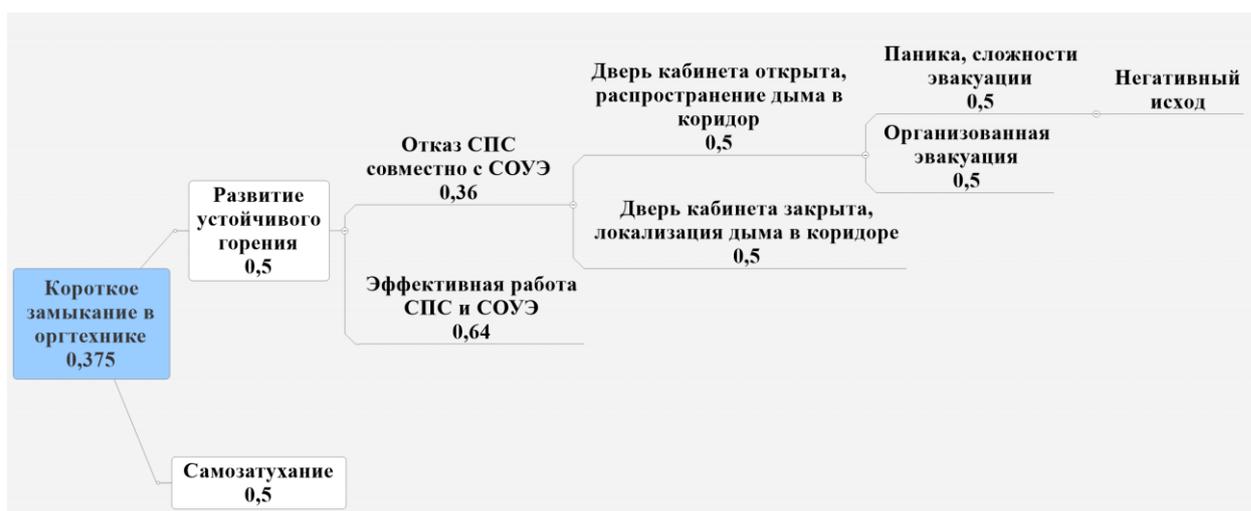


Рисунок 8 – Логическая схема («Дерево событий») развития пожара по сценарию №1 (Кабинет №305, 3 этаж) для исследуемого объекта

Наихудшая ветвь (короткое замыкание → устойчивое горение → отказ СПС и СОУЭ → дверь открыта → паника и сложности эвакуации):

$$P_{\text{сц.}} = 0,375 \times 0,5 \times 0,36 \times 0,5 \times 0,5 = 0,0169. \quad (4)$$

Построение «дерева событий» по сценарию № 2 (Помещение №402, 4 этаж).

Иницирующее событие: перегрев и возгорание бытовой техники.

Последовательность событий (узлы дерева):

- возгорание электроприбора: переход к следующему событию с вероятностью 1, так как это исходное событие;
- развитие устойчивого горения/самозатухание: если устойчивое горение не возникло, сценарий прекращается;
- срабатывание системы СПС совместно с СОУЭ: своевременное срабатывание либо срабатывание с задержкой (отказ);
- дверь кабинета открыта/закрыта: при открытой двери – распространение дыма в коридор;
- начало эвакуации: организованная эвакуация или паника (сложности эвакуации).

Для определения вероятности возгорания электроприбора (например, чайника, микроволновки, тостера, кофемашины) применяется аналогичный подход как для сценария №1, основанный на выявлении факторов риска возгорания электроприбора и анализе весовых коэффициентов каждого фактора.

В помещениях приёма пищи офисных зданий требует учёта как технические, так и поведенческие факторы. Основными факторами риска принимаются: техническое состояние прибора (старое, неисправное оборудование более подвержено перегреву и КЗ), наличие признаков перегрузки/перегрева (частое включение на длительное время, работа без перерыва), правильность эксплуатации (нарушения инструкции, перегрев), состояние розеток и проводки (использование тройников, поврежденных вилок), наличие обслуживания/контроля (есть ли ответственный, проводятся ли проверки).

Каждому фактору риска присваивается весовой коэффициент (значимость) методом экспертных оценок, где 0 – незначительный фактор, 1 – максимально значимый фактор.

Далее каждому фактору присваивается оценка состояния по шкале от 0 до 1, где 0 – отличное состояние (риск минимален), 0,25 – хорошее состояние (низкий риск), 0,5 – удовлетворительное (средний риск), 0,75 – неудовлетворительное (высокий риск), 1 – критическое состояние (риск очень высок). Оценку состояния факторов проводится на основе визуального осмотра, анализа документации и отчетов по техобслуживанию и ремонту.

Проводится расчёт интегрального показателя риска короткого замыкания по формуле (1).

Результаты расчета интегрального показателя вероятности возгорания электроприбора при реализации сценария № 2 (Помещение №402, 4 этаж) представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Расчетные показатели вероятности возгорания электроприбора при реализации сценария №2

Фактор	Весовой коэффициент	Оценка состояния	Произведение
Техническое состояние прибора	0,3	0,5 (бюджетные приборы, есть модели старше 3 лет)	0,15
Наличие признаков перегрузки/перегрева	0,25	0,5 (приборы часто включаются, без контроля)	0,125
Правильность эксплуатации	0,2	0,75 (есть случаи работы без присмотра)	0,15
Состояние розеток и проводки	0,15	0,25 (нормальное, но есть удлинители)	0,0375
Наличие обслуживания/контроля	0,1	0,25 (уборка есть, но контроль нерегулярный)	0,025
Вероятность возгорания электроприбора	$P=(0,3 \cdot 0,5)+(0,25 \cdot 0,5)+(0,2 \cdot 0,75)+(0,15 \cdot 0,25)+(0,1 \cdot 0,25)=$ $=0,15+0,125+0,15+0,0375+0,025=0,4875$		

Вероятность эффективной работы системы СПС совместно с СОУЭ при реализации сценария пожара определяется аналогично сценарию №1 по формуле (3).

Вероятности развития остальных ветвей «дерева событий» консервативно принимаются 0,5.

«Дерево событий» для количественной оценки вероятности реализации сценария № 2 (Помещение №402, 4 этаж) представлено на рисунке 5.

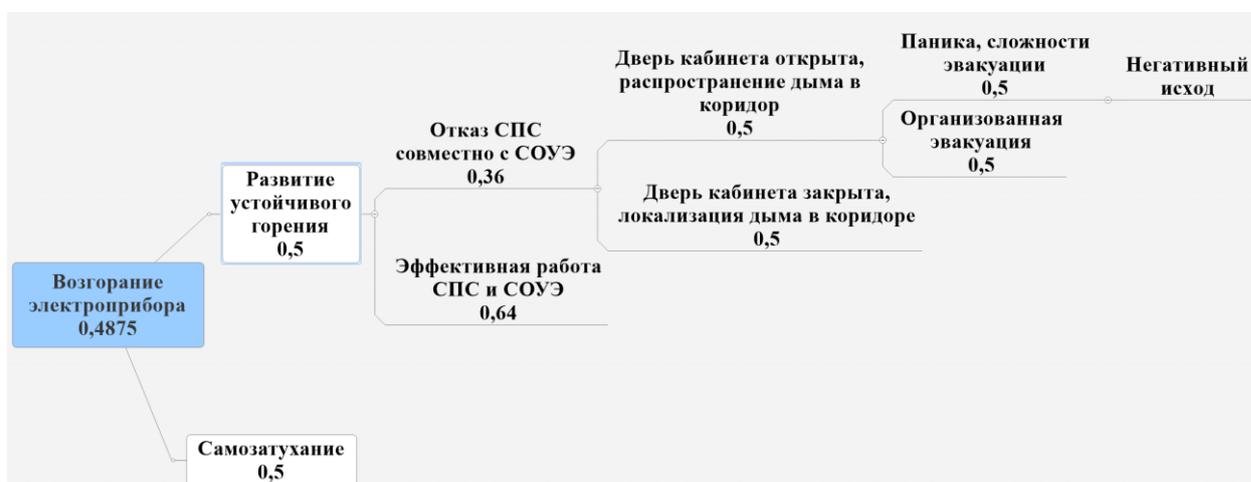


Рисунок 9 – Логическая схема («Дерево событий») развития пожара по сценарию №2 (Помещение №402, 4 этаж) для исследуемого объекта

Наихудшая ветвь (возгорание электроприбора → устойчивое горение → отказ СПС и СОУЭ → дверь открыта → паника и сложности эвакуации):

$$P_{\text{сц.}} = 0,4875 \times 0,5 \times 0,36 \times 0,5 \times 0,5 = 0,0219. \quad (5)$$

Построенные «деревья событий» показывают этапы развития наиболее критических ситуаций, а также наглядно демонстрируют вклад различных факторов в итоговую вероятность реализации рассматриваемых сценариев.

После выполнения количественной оценки вероятностей реализации формализованных сценариев пожара, следующим шагом методического подхода является построение матрицы оценки пожарных рисков. Цель этапа – обобщить полученные данные в формате, позволяющем наглядно оценить уровень риска по каждому сценарию и определить приоритеты для внедрения мер защиты.

Матрица оценки пожарных рисков представляет собой двумерную таблицу, в которой одна ось отражает вероятность реализации сценария, а

другая – тяжесть последствий. Подход базируется на полуколичественном методе «Анализ вида аварии, последствий и критичности аварии».

Вероятность реализации сценария:

- высокие вероятности ($\geq 10^{-2}$), условное обозначение – В;
- средняя вероятность (от 10^{-4} до 10^{-2}), условное обозначение – С;
- низкая вероятность (менее 10^{-4}), условное обозначение – Н.

Тяжесть последствий устанавливается исходя из следующих положений:

- высокая тяжесть – ситуации с высоким риском для жизни и здоровья людей, приводящие к возникновению материального ущерба, условное обозначение – В;
- средняя тяжесть – с вероятностью получения людьми травмы без летального исхода, а также нанесением тяжести высокой тяжести, условное обозначение – С;
- низкая тяжесть – последствия, вызывающие последствия, не представляющие угрозы для здоровья людей и причиняющие небольшой материальный ущерб, условное обозначение – Н.

Для сценария № 1 (Кабинет №305, 3 этаж):

- вероятность сценария: $P_{сц.}=0,0169 \rightarrow$ высокая (В);
- последствия: возможна паника, блокировка путей эвакуации, риск поражения \rightarrow высокая (В);
- категория \rightarrow «В-В».

Для сценария № 2 (Помещение №402, 4 этаж):

- вероятность сценария: $P_{сц.}=0,0219 \rightarrow$ высокая (В);
- последствия: ограниченное задымление, риск \rightarrow средняя (С);
- категория \rightarrow «В-С».

На основании вышеизложенного в таблице 9 представлена матрица оценки рисков.

Таблица 9 – Матрица оценки рисков для исследуемого объекта

Вероятность / Последствия	Низкая тяжесть	Средняя тяжесть	Высокая тяжесть
Низкая вероятность	Низкий риск	Низкий риск	Средний риск
Средняя вероятность	Низкий риск	Средний риск	Высокий риск
Высокая вероятность	Средний риск	Высокий риск Помещение №402(сценарий №2)	Очень высокий риск Кабинет №305 (сценарий №1)

Из матрицы следует: оба рассматриваемых сценария – возгорание в кабинете №305 и в помещении №402 – относятся к категории высокого и очень высокого уровня риска. Это требует немедленной разработки комплекса корректирующих мероприятий, направленных как на снижение вероятности возникновения пожара, так и на минимизацию последствий его развития.

Цель данного шага – обоснование и описание практических мероприятий, реализация которых позволит перевести риски в допустимые категории в соответствии с нормативными требованиями и обеспечит системную защиту исследуемого объекта.

Разработка мероприятий велась с учетом следующих принципов: приоритетность воздействия на наиболее уязвимые участки цепочек событий, реалистичность и осуществимость предложений в условиях действующего объекта, соблюдение нормативных требований в области пожарной безопасности, системность – охват как технических, так и организационных аспектов.

На основе анализа уязвимостей сценариев и их причинных факторов разработан набор мероприятий. Мероприятия включают установку термореле и автоматических отключателей на бытовую технику в помещении №402, что направлено на исключение перегрева оборудования как источника возгорания и охватывает Сценарий №2 (пожар в комнате приёма пищи). Внедрение режима отключения оргтехники по окончании рабочего дня в кабинете №305 направлено на снижение вероятности возгорания из-за длительной работы электрооборудования без присмотра и охватывает Сценарий №1 (возгорание в кабинете №305). Переоснащение сетей питания с установкой защиты от

перегрузки и короткого замыкания охватывает оба сценария и нацелено на предотвращение инициирующего события пожара — неисправности электропроводки.

Проверка и актуализация системы пожарной сигнализации и системы оповещения и управления эвакуацией также охватывает оба сценария и направлена на повышение вероятности раннего обнаружения пожара и своевременного оповещения людей. Очистка эвакуационных проходов и дверей от препятствий охватывает оба сценария и нацелена на снижение последствий при эвакуации, обеспечение беспрепятственного и быстрого выхода людей. Проведение практических тренировок по эвакуации не реже одного раза в квартал охватывает оба сценария и направлено на повышение организованности и готовности персонала к действиям в чрезвычайной ситуации. Разработка листов контроля отключения оборудования и навигации по безопасным зонам охватывает оба сценария и нацелена на снижение вероятности возникновения пожара из-за человеческого фактора и минимизацию панических реакций за счет четкой информированности.

Эффективность предложенных мер оценивалась повторным расчётом вероятности реализации наихудших ветвей сценариев с учётом влияния мероприятий. Пример пересчёта для сценария № 2:

- инициирующее событие: снижено с 0,48750 до 0,2 за счёт технических мер (меры 1, 3);
- вероятность отказа СПС совместно с СОУЭ: снижено с 0,64 до 0,9;
- прочие факторы: снижены по консервативной оценке с 0,5 до 0,3.

$$P_{\text{сц. (скор)}} = 0,2 \times 0,5 \times 0,9 \times 0,3 \times 0,3 = 0,0081. \quad (6)$$

Риск переходит из категории «В-С» (высокий) в «С-С» (средний), что соответствует допустимому уровню.

Для обеспечения устойчивого результата предложено: назначить ответственного за контроль противопожарных мероприятий, включить

данные мероприятия в план технического обслуживания здания, вести журнал выполнения инструктажа и тренировок, периодически пересматривать уровень риска по актуальной обстановке.

Выполненная корректировка сценариев с применением предложенных мероприятий подтверждает возможность перевода рисков из недопустимой зоны в допустимую, при этом мероприятия являются технически и организационно выполнимыми. Они соответствуют как принципам системного подхода, так и положениям нормативных документов и обеспечивают реальное повышение уровня пожарной безопасности на объекте ООО «ИК ЦентрПроект».

Проведённая апробация показала, что предложенный методический подход позволяет учитывать как конструктивные, так и организационные особенности объекта. Он применим к реальным офисным пространствам и может быть адаптирован к другим объектам, отнесённым к классу функциональной опасности Ф4.3. Моделирование вручную, без использования специализированного ПО, дало возможность детально проработать причинно-следственные связи и выстроить логически обоснованные сценарии. Таким образом, апробация подтвердила, что подход может служить эффективным инструментом предварительной оценки риска и разработки мероприятий по повышению уровня техносферной безопасности.

3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации

В подразделе 3.1 были представлены результаты апробации методического подхода по оценке вероятности сценариев пожара на объекте – офисные помещения ООО «ИК ЦентрПроект». Полученные данные, выявившие критические точки уязвимости системы пожарной безопасности, стали основой для разработки целевого комплекса мероприятий. Целью данного раздела является комплексный анализ эффективности этих

мероприятий, включая не только технические и организационные аспекты, но и экономическую оценку, а также формулирование выводов о их вкладе в повышение уровня техносферной безопасности организации в целом.

Основными стратегическими целями внедрения разработанного комплекса мероприятий являлись:

- снижение вероятности возникновения иницирующих событий: минимизация рисков, связанных с коротким замыканием и перегревом электрооборудования;
- повышение надежности систем активной противопожарной защиты: обеспечение 100% охвата помещений надежно функционирующими СПС и СОУЭ;
- оптимизация пассивной противопожарной защиты и действий персонала: сокращение времени безопасной эвакуации, снижение влияния человеческого фактора за счет повышения уровня подготовленности и создания четких регламентов;
- создание системы непрерывного мониторинга и управления рисками: формирование организационного механизма для поддержания достигнутого уровня безопасности и его постоянного совершенствования.

Для проведения сравнительного анализа эффективности было зафиксировано исходное состояние объекта («Было») по ключевым показателям, представленное в таблице 10. Данные были получены в ходе плановой внутренней проверки, оформленной Протоколом обследования № Б-01 от 15.04.2025. Копия протокола обследования № Б-01 от 15.04.2025 представлена в приложении Б.

Анализ исходных данных показал системные проблемы: неполное покрытие системами обнаружения и оповещения, что создавало «слепые» зоны; превышение расчетного времени эвакуации, указывающее на потенциальную угрозу жизни и здоровью людей; низкую культуру пожарной безопасности среди персонала и недостаточный контроль за соблюдением

противопожарного режима. Это подтверждало высокий уровень риска, идентифицированный на этапе апробации методики.

Таблица 10 – Показатели первичной проверки исследуемого объекта

Показатель	Значение «Было»	Норма	Отклонение
Охват СПС, %	90	100	-10
Охват СОУЭ 2-го типа, %	85	100	-15
Среднее время эвакуации, мин	5,5	≤4	+1,5
Ложные срабатывания СПС, раз/год	5	≤2	+3
Осведомлённость персонала, %	58	≥90	-32
Несоответствие нормам эвакуации (отсутствие инструкций на эвакуационных выходах, блокирование путей эвакуации, отсутствие контроля исправности световых указателей)	7	0	

На основе анализа уязвимостей сценариев и их причинных факторов разработан набор мероприятий, представленный в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень мероприятий перевода рисков в допустимые категории для исследуемого объекта

Мероприятие	Охват сценария	Направление действия
Установка термореле и автоматических отключателей на бытовую технику в помещении №402	Сценарий № 2	Исключение перегрева
Внедрение режима отключения оргтехники по окончании рабочего дня (кабинет №305)	Сценарий №1	Снижение вероятности возгорания
Переоснащение сетей питания с установкой защиты от перегрузки и КЗ	Оба	Предотвращение иницирующего события
Проверка и актуализация системы СПС и СОУЭ (датчики, сигнал, зона покрытия)	Оба	Повышение вероятности раннего обнаружения
Очистка эвакуационных проходов и дверей от препятствий	Оба	Снижение последствий при эвакуации
Проведение практических тренировок по эвакуации не реже 1 раза в квартал	Оба	Повышение организованности персонала
Разработка листов контроля отключения оборудования и навигации по безопасным зонам	Оба	Снижение вероятности и панических реакций

Установка термореле и автоматических отключателей на бытовую технику в помещении № 402. Обоснование: снижение риска перегрева и короткого замыкания при длительном режиме работы техники. Ресурсы: термореле (терморегулятор) ТР-1, автоматы ВА47-29, кабельные соединения. срок: до конца июня 2025.

Внедрение режима автоматического отключения оргтехники по окончании рабочего дня в кабинете № 305. Обоснование: исключение длительного присутствия техники под напряжением в нерабочие часы. Ресурсы: программируемые цифровые таймеры, модуль управления коммутацией. Срок: июль 2025.

Переоснащение электросетей с установкой автоматических выключателей ВА47-100 и УЗО 25 А. Обоснование: повышение надёжности электроснабжения и снижение вероятности перегрузок сети. Ресурсы: автоматические выключатели, УЗО, монтажные работы. Срок: май–июнь 2025.

Проверка и актуализация системы пожарной сигнализации и СОУЭ 2-го типа. Обоснование: гарантия своевременного обнаружения очага пожара и надёжного оповещения. Ресурсы: тестовые комплекты датчиков, замена неисправных шлейфов и извещателей. Срок: май–июнь 2025.

Очистка эвакуационных проходов и дверей от препятствий. Обоснование: обеспечение свободного движения людей при эвакуации, исключение заторов. Ресурсы: оформление инструкций, негоряемые контейнеры для временного хранения. Срок: июнь 2025.

Проведение практических тренировок по эвакуации не реже одного раза в квартал (апрель 2025–март 2026). Обоснование: отработка алгоритмов реагирования и повышение навыков персонала. Ресурсы: сценарные планы, оборудование для имитации задымления.

Разработка чек-листов контроля отключения оборудования и схем безопасных зон. Обоснование: систематизация процедур, минимизация

человеческого фактора. Ресурсы: шаблоны документов, печатные схемы, обучающие материалы. Срок: до августа 2025.

Результаты внедрения мероприятий, полученные в ходе контрольного обследования (Протокол № К-02 от 20.08.2025), демонстрируют значительную положительную динамику по всем ключевым показателям, что отражено в таблице 12. Копия протокола № К-02 от 20.08.2025 представлена в приложении В.

Таблица 12 – Показатели вторичной проверки исследуемого объекта

Показатель	Было	Стало	Δ, %
Охват СПС, %	90	100	+10
Охват СОУЭ, %	85	100	+15
Среднее время эвакуации, мин	5,5	3,2	-41,8
Ложные срабатывания СПС, шт./год	5	1	-80
Осведомлённость персонала, %	58	92	+58,6
Несоответствий по чек-листу СП, шт.	7	1	-85,7

Качественный анализ эффективности показывает, что мероприятия привели к следующим принципиальным изменениям:

- повысилась устойчивость объекта к инициирующим событиям: технические меры существенно снизили вероятность возникновения пожара из-за неисправностей электрооборудования;
- сократилось время реагирования: надежное срабатывание СПС и СОУЭ гарантирует раннее обнаружение пожара и своевременное начало эвакуации;
- снизилась потенциальная тяжесть последствий: сокращение времени эвакуации на 2,3 минуты критически увеличивает вероятность безопасного вывода всех людей до достижения опасных факторов пожара критических значений;
- сформирована культура безопасности: высокий уровень осведомленности персонала и отработанные навыки действий в чрезвычайной ситуации минимизируют панику и неадекватные

действия, которые часто являются причиной трагических последствий.

Анализ эффективности внедрения мероприятий, направленных на снижение пожарного риска, повышение надёжности инженерных систем оповещения и управления эвакуацией, а также повышение профессиональной готовности персонала, происходит на основе сопоставления затрат и потенциальной экономии.

Экономическая оценка включает расчёты затрат на оборудование и монтаж, затраты на персонал (инженер ПБ), который будет осуществлять организационные мероприятия по повышению профессиональной готовности персонала организации по вопросам пожарной безопасности

Затраты на оборудование и монтаж:

- оборудование (автоматические выключатели, УЗО, термореле, таймеры, комплекты датчиков и извещателей, световые указатели и кабельная продукция): 300000 рублей;
- монтажные и пусконаладочные работы: 150000 рублей.

Общие затраты на оборудование и монтаж: $300000 + 150000 = 450000$ рублей.

Расчет заработной платы персонала (инженер ПБ):

- инженер (должностной оклад): $40000 \text{ рублей} \times 1 \text{ месяц} = 40000$ рублей;
- премия (50% от оклада): 20000 рублей;
- районный коэффициент (30% от оклада): 12000 рублей;
- надбавка за стаж (10% от оклада и премии): 6000 рублей.

Итого основная заработная плата: $40000 + 20000 + 12000 + 6000 = 78000$ рублей.

Дополнительная заработная плата (10% от основной): 7800 рублей.
Отчисления на социальные нужды (30% от основной заработной платы): 23400 рублей.

Итого затраты на персонал: $78000 + 7800 + 23400 = 109200$ рублей.

Общая плановая себестоимость: 450000 (оборудование и монтаж) + 109200 (затраты на персонал) = 559 200 рублей.

Экономический эффект от снижения рисков (предотвращение штрафных санкций по минимальной ставке при нарушениях требований пожарной безопасности, в соответствии со статьёй 20.4 Кодекса РФ об административных правонарушениях [11], для юридических и должностных лиц):

- минимальный штраф для юридического лица: 300 000 рублей;
- минимальный штраф для должностного лица: 20 000 рублей.

Экономический эффект: 320 000 - 559 200 = минус 239 200 рублей.

На первый взгляд, прямое сравнение затрат (559 200 руб.) и эффекта (320 000 руб.) дает отрицательный результат (-239 200 руб.). Однако, такая оценка является узкой и не учитывает стратегические и косвенные эффекты:

- предотвращение прямого ущерба от пожара: стоимость восстановления офиса, утраченного имущества, данных и простоя бизнеса может на порядки превышать затраты на превентивные меры;
- снижение страховых премий: документально подтвержденное повышение уровня пожарной безопасности может служить основанием для пересмотра страховых тарифов в сторону их снижения;
- сохранение человеческого капитала: главный эффект – это предотвращение вреда жизни и здоровью сотрудников, который не имеет денежного выражения, но является приоритетом;
- поддержание деловой репутации: избежание чрезвычайных происшествий позволяет сохранить имидж надежной компании перед клиентами и партнерами.

Экономическая эффективность проекта рассчитывается по формуле:

$$Э_{эф} = (ЭЭ / З) \times 100\%, \quad (7)$$

где $Э_{эф}$ – экономическая эффективность от мероприятий;

ЭЭ – экономический эффект;

З – затраты на внедрение мероприятий.

В качестве экономического эффекта можно использовать сумму «сэкономленного» неуплаченного административного штрафа.

Эффективность по формуле (10) составит:

$$\text{Э}_{\text{эф}} = (320000 / 559\,200) \times 100\% \approx 57,2\%.$$

Таким образом, несмотря на значительные первоначальные вложения, предложенные мероприятия обеспечивают существенное снижение рисков, повышают безопасность персонала, что подтверждает целесообразность реализации предложенных мероприятий.

Вывод по разделу 3.

В результате проведённой апробации методического подхода по оценке вероятности сценариев развития пожара на объекте ООО «ИК ЦентрПроект» установлено, что актуальное состояние противопожарной защиты на момент обследования не соответствовало ряду нормативных требований, включая частичное покрытие системами пожарной сигнализации и СОУЭ, удлинённое время эвакуации, а также недостаточный уровень осведомлённости персонала.

На основании выявленных отклонений был сформирован комплекс из семи практико-ориентированных мероприятий, направленных на повышение уровня техносферной безопасности. Реализация предложенных решений обеспечила достижение нормативных показателей охвата СПС и СОУЭ (100 %), снижение времени эвакуации на 41,8 %, уменьшение количества ложных срабатываний системы пожарной сигнализации, а также рост информированности сотрудников до уровня 92 %.

Проведённые экономические расчёты подтвердили целесообразность внедрения мер: несмотря на первоначальные затраты в размере 559200 рублей, расчётный экономический эффект от предотвращения штрафных санкций

составил 320000 рублей, а эффективность – 57,2%. Помимо прямой финансовой выгоды, мероприятия обеспечили устойчивое снижение вероятности реализации пожароопасных сценариев, что соответствует требованиям Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [37], Правил противопожарного режима в РФ [18] и нормативных документов по пожарной безопасности.

Таким образом, апробация предложенного методического подхода подтвердила его прикладную ценность и возможность дальнейшего тиражирования на аналогичных объектах с учётом индивидуальных рисков и ресурсных ограничений. Полученный практический опыт демонстрирует, что предлагаемая методология служит эффективным инструментом для обоснования управленческих решений и планирования инвестиций в область техносферной безопасности, обеспечивая баланс между экономической целесообразностью и нормативными требованиями.

Заключение

Выполненное магистерское исследование посвящено разработке и апробации методического подхода по оценке вероятности сценариев развития пожара на объектах защиты, а также определению комплекса мероприятий, направленных на снижение рисков и обеспечение нормативного уровня техносферной безопасности.

В первом разделе диссертации проанализированы современные подходы к оценке и управлению пожарным риском. Проведён обзор нормативных правовых документов, включая Федеральный закон № 123-ФЗ [37], Правила противопожарного режима в РФ [18], актуальные методические документы по пожарной и промышленной безопасности, а также международные стандарты в области исследования сценариев развития пожара. Установлено, что действующие подходы требуют адаптации к условиям конкретных объектов, особенно в части учёта комплексного влияния технических, организационных и человеческих факторов на сценарии развития пожара. Выявлена ограниченность существующих методик в части количественной оценки вероятностей реализации тех или иных сценариев в условиях неоднородной застройки, смешанных функций зданий, различной подготовки персонала и вариативности инженерной инфраструктуры.

Во втором разделе предложен методический подход, базирующийся на идентификации и количественной оценке критических факторов, влияющих на вероятность развития пожара. Сформирована система показателей, включающая как технические (наличие и работоспособность СПС, СОУЭ, степень загромождённости путей эвакуации, состояние электросетей), так и организационные (уровень осведомлённости персонала, наличие инструкций, периодичность учений) параметры. Установлены взаимосвязи между ними, что позволило перейти от качественной экспертной оценки к более структурированному количественному анализу. На основе предложенного подхода реализован алгоритм расчёта вероятности реализации критических

сценариев пожара, учитывающий как базовые значения, так и весовые коэффициенты факторов.

В третьем разделе методика прошла апробацию на реальном объекте защиты – офисные помещения ООО «ИК ЦентрПроект» в административном здании в городе Кемерово. Проведена комплексная оценка исходного состояния объекта, в том числе путём инструментальных измерений, анализа проектной и эксплуатационной документации, анкетирования персонала и хронометрирования учебной эвакуации. По результатам обследования зафиксированы несоответствия требованиям нормативных документов: частичное покрытие СПС и СОУЭ (90 % и 85 % соответственно), превышение расчётного времени эвакуации, низкий уровень подготовки персонала, недостаточная систематизация организационных процедур. На основе выявленных проблем разработан комплекс из семи мероприятий, включающих техническую модернизацию СПС и СОУЭ, оптимизацию схем электроснабжения, проведение учений.

Реализация предложенных мероприятий позволила достичь положительной динамики всех ключевых показателей. По результатам контрольного обследования и протоколов испытаний установлено, что уровень противопожарной защиты приведён в соответствие с нормативными требованиями. Среднее время эвакуации сокращено с 5,5 до 3,2 минут, охват СПС и СОУЭ увеличен до 100 %, ложные срабатывания сведены к минимуму, а уровень информированности персонала достиг 92 %. Проведённая экономическая оценка показала, что при суммарных затратах 559200 рублей расчётный экономический эффект от предотвращения штрафных санкций и сбоев в работе составил 320000 рублей. Несмотря на формальное превышение затрат над прямым эффектом, значение интегрального показателя эффективности составило 57,2 %, что подтверждает целесообразность принятых решений с точки зрения минимизации вероятности катастрофических последствий.

Таким образом, поставленные в диссертации цели достигнуты, задачи решены в полном объёме. Разработанный методический подход продемонстрировал практическую значимость, применимость на объектах административного, производственного и общественного назначения. Он может быть использован как основа для построения системы мониторинга пожарных рисков в рамках внутреннего производственного контроля или интеграции с цифровыми платформами по техносферной безопасности.

Полученные в ходе исследования результаты обладают не только прикладной, но и научной новизной, заключающейся в систематизации факторов, влияющих на развитие пожара, и переходе к количественной модели расчёта вероятности реализации сценариев. Внедрение разработанной методики может способствовать как снижению аварийности, так и снижению затрат на обеспечение пожарной безопасности за счёт оптимизации технических решений.

Представленный подход может быть использован при разработке комплексных программ повышения устойчивости объектов к чрезвычайным ситуациям техногенного характера, а также при аттестации специалистов, отвечающих за противопожарное состояние зданий и сооружений. В перспективе методика может быть адаптирована для применения в автоматизированных системах оценки рисков.

Список используемых источников

1. Абашкин А. А., Карпов А. В., Ушаков Д. В., Фомин М. В., Гилетич А. Н., Комков П. М., Самошин Д. А. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М.: ВНИИПО, 2014. 226 с.
2. Адамян В. Л. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учебное пособие [Электронный ресурс]: учебное пособие. 2-е изд., стер. URL: <https://e.lanbook.com/book/314756> (Дата обращения: 01.06.2025).
3. Александренко М. В., Акулова М. В., Ибрагимов А. М. Математическое моделирование пожара // Международный научно-исследовательский журнал. 2015, №4 (35). С. 28-29.
4. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ. изд.: в 2 книгах. М.: Химия, 1990.
5. Болодьян И. А., Шебеко Ю. Н., Карпов В. Л., Макеев В. И., Некрасов В. П., Пономарев А. А., Строгонов В. В., Гордиенко Д. М., Лагозин А. Ю., Григорьева А. В., Кириллов Д. С., Дешевых Ю. Н., Гилетич А. Н., Макеев А. А. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. М.: ВНИИПО, 2006. 93 с.
6. Гончаренко В. С., Чечетина Т. А., Сибирко В. И., Надточий О. В., Полехин П. В., Козлов А. А., Грибанов А. М. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году. Статистика пожаров и их последствий. Информационно-аналитический сборник. Балашиха: ВНИИПО, 2023. 80 с.
7. Гордиенко Д. М., Карпов А. В., Кириллов Д. С., Косачев А. А., Левченко Е. В., Шебеко Ю. Н. Данные о частотах возникновения пожаров и пожароопасных ситуаций в общественных зданиях различного назначения и на производственных объектах. Пожарная безопасность: научно-технический журнал. 2009, № 2. С. 42-46.

8. Гордиенко Д. М., Кириллов Д. С., Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Трунева В. А., Гилетич А. Н., Комков П. М. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2012. 242 с.

9. Гордиенко Д. М., Лагозин А. Ю., Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Леанчук П. А., Зубань А. В., Трунёва В. А., Горшков В. И., Курлатов А. Л. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. 2-ое изд., испр. и доп. М.: ВНИИПО, 2016. 265с.

10. Земский Г. Т. Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов. Справочник. М.: ВНИИПО, 2016. 971 с.

11. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях. [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 30.12.2001 № 195-ФЗ. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

12. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. И доп. М.: Асс. «Пожнаука», 2004.

13. Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 51901.10-2009/ISO/TS 16732:2005 : Введ. 15.12.2009. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

14. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» [Электронный ресурс] : СТО Газпром 2-2.3-351-2009: Введ. 30.03.2009. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

15. Мочалова Т. А., Сторонкина О. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учебное пособие. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. 145 с.

16. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности. [Электронный ресурс]: Приказ

МЧС РФ от 14.11.2022 № 1140. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

17. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. [Электронный ресурс]: Приказ МЧС РФ от 26.06.2024 № 533. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

18. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

19. О пожарной безопасности. [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

20. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

21. О промышленной безопасности опасных производственных объектов. [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

22. Панов А. А., Колов А. А., Журавлёв Ю. Ю. Алгоритм выбора сценариев пожара в зданиях, сооружениях и строениях классов функциональной пожарной опасности Ф1.3 и Ф1.2 [Электронный ресурс]: URL: <https://takir.ru/vse-publikacii/stati/algorithm-vybora-scenarijev-pozhara-v-zdaniyah-sooruzhenijah-i-stroenijah-klassov-funkcionalnoj-pozharnoj-opasnosti-f1-3-i-f1-2> (Дата обращения: 01.06.2025).

23. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс] : ГОСТ 12.1.004-91 : Введ. 14.06.1991. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

24. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 12.3.047-2012 :

Введ. 27.12.2012. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

25. Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б. Прогнозирование пожаров статистическим методом. Технологии техносферной безопасности // Кокшетауский технический институт КЧС МВД Казахстан, 2017.

26. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание [Электронный ресурс] : ГОСТ 12.4.009-83 : Введ. 01.01.1985. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

27. Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». [Электронный ресурс]: Приказ Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

28. Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов». [Электронный ресурс]: Приказ Ростехнадзора от 29.12.2022 № 478. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

29. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс] : СП 10.13130.2020 : Введ. 27.01.2021. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

30. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : СП 8.13130.2020 : Введ. 30.09.2020. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

31. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты [Электронный ресурс] : СП 2.13130.2020 : Введ. 12.09.2020. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

32. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям [Электронный ресурс] : СП 4.13130.2013 : Введ. 29.07.2013. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

33. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы [Электронный ресурс] : СП 1.13130.2020 : Введ. 19.09.2020. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

34. Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : СП 486.1311500.2020 : Введ. 01.03.2021. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

35. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : СП 3.13130.2009 : Введ. 01.05.2009. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

36. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс] : СП 484.1311500.2020 : Введ. 01.03.2021. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

37. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 28.07.2008 № 123-ФЗ. URL: <https://design.cntd.ru/proekt/> (дата обращения: 01.06.2025).

38. Цвиркун А. Д., Резчиков А. Ф., Самарцев А. А., Иващенко В. А., Кушников В. А., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Математическая модель динамики развития пожара в помещениях // Научный журнал «Управление большими системами: сборник трудов». 2018, выпуск 74. С. 42-62.

39. Якуш С. Е., Эсманский Р. К. Анализ пожарных рисков. Часть I Подходы и методы // Научный журнал «Проблемы анализа риска». 2009, том 6, № 3. С. 8-27.
40. CFPА Europe Guideline No. 4:2010. Introduction to qualitative fire risk assessment. CFPА Europe, Zurich, 15 p. 2010.
41. СРR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment. Committee for the Prevention of Disasters , Hague, 240 p. 1999.
42. ISO 16732-1:2012. Fire safety engineering – Fire risk assessment. Part 1: General. International Organization for Standardization, Geneva, 20 p. 2012.
43. NFPA 101. Life Safety Code. NFPA, Quincy, MA, 590 p. 2021.
44. NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. NFPA, Quincy, MA, 36 p. 2022.
45. PD 7974-7. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic risk assessment. BSI, London, 80 p. 2003.
46. SFPE Engineering Guide. Fire Risk Assessment. Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, 115 p. 2006 г.

Приложение А

Копии опросных листов и протокола обработки результатов опроса о взаимосвязях между основными показателями, влияющими на развитие сценариев пожара

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ № 1

для экспертной оценки взаимовлияния показателей пожарной опасности

Эксперт: Лукин М.С.

Должность: начальник отдела специальных проектов (специалист по расчету пожарных рисков)

Дата: 15.03.2025

ИНСТРУКЦИЯ: Оцените степень влияния между парами показателей по следующей шкале:

- **3** – сильное влияние (↑↑)
- **2** – среднее влияние (↑)
- **1** – слабое влияние (→)
- **0** – отсутствие влияния (-)

Матрица оценки:

Показатели	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
А. Место возникновения	-	3	2	3	1	3	3
Б. Частота возникновения	2	-	3	2	2	3	2
В. Условная вероятность	2	3	-	3	3	3	3
Г. Опасные факторы	3	2	3	-	3	3	3
Д. Вероятность срабатывания	1	2	3	3	-	3	2
Е. Вероятность поражения	3	2	3	3	3	-	3
Ж. Объемно-планировочные решения	3	2	3	3	2	3	-

Подписи:

Ответственный за обработку данных: *Лукин* / Лукин М.С. /

Дата: 15.03.2025

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ № 2

для экспертной оценки взаимовлияния показателей пожарной опасности

Эксперт: Раевских О.А.

Должность: ведущий инженер отдела специальных проектов (специалист по расчету пожарных рисков)

Дата: 15.03.2025

ИНСТРУКЦИЯ: Оцените степень влияния между парами показателей по следующей шкале:

- **3** – сильное влияние (11)
- **2** – среднее влияние (1)
- **1** – слабое влияние (→)
- **0** – отсутствие влияния (-)

Матрица оценки:

Показатели	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
А. Место возникновения	-	2	2	3	1	3	3
Б. Частота возникновения	2	-	3	2	2	3	2
В. Условная вероятность	2	3	-	3	2	3	3
Г. Опасные факторы	3	2	3	-	3	3	3
Д. Вероятность срабатывания	1	2	2	3	-	3	2
Е. Вероятность поражения	3	2	3	3	3	-	3
Ж. Объемно-планировочные решения	3	2	3	3	2	3	-

Подписи:

Эксперт:  / Раевских О.А. /

Ответственный за обработку данных:  / Лукин М.С. /

Дата: 15.03.2025

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ № 3

для экспертной оценки взаимовлияния показателей пожарной опасности

Эксперт: Волос С.В.

Должность: начальник электротехнического отдела (специалист по проектированию СПС, СОУЭ, АУП)

Дата: 16.03.2025

ИНСТРУКЦИЯ: Оцените степень влияния между парами показателей по следующей шкале:

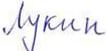
- **3** – сильное влияние (11)
- **2** – среднее влияние (1)
- **1** – слабое влияние (→)
- **0** – отсутствие влияния (-)

Матрица оценки:

Показатели	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
А. Место возникновения	-	3	3	3	2	3	3
Б. Частота возникновения	2	-	3	2	2	3	2
В. Условная вероятность	3	3	-	3	3	3	3
Г. Опасные факторы	3	2	3	-	3	3	3
Д. Вероятность срабатывания	2	2	3	3	-	3	2
Е. Вероятность поражения	3	2	3	3	3	-	3
Ж. Объемно-планировочные решения	3	2	3	3	2	3	-

Подписи:

Эксперт:  / Волос С.В. /

Ответственный за обработку данных:  / Лукин М.С. /

Дата: 16.03.2025

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ № 4

для экспертной оценки взаимовлияния показателей пожарной опасности

Эксперт: Молчанов А.С.

Должность: главный специалист электротехнического отдела (специалист по проектированию СПС, СОУЭ, АУП)

Дата: 16.03.2025

ИНСТРУКЦИЯ: Оцените степень влияния между парами показателей по следующей шкале:

- **3** – сильное влияние (11)
- **2** – среднее влияние (1)
- **1** – слабое влияние (→)
- **0** – отсутствие влияния (-)

Матрица оценки:

Показатели	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
А. Место возникновения	-	3	2	3	1	3	3
Б. Частота возникновения	2	-	3	2	2	3	2
В. Условная вероятность	2	3	-	3	2	3	3
Г. Опасные факторы	3	2	3	-	3	3	3
Д. Вероятность срабатывания	1	2	2	3	-	3	2
Е. Вероятность поражения	3	2	3	3	3	-	3
Ж. Объемно-планировочные решения	3	2	3	3	2	3	-

Подписи:

Эксперт:  / Молчанов А.С. /

Ответственный за обработку данных:  / Лукин М.С. /

Дата: 16.03.2025

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ № 5

для экспертной оценки взаимовлияния показателей пожарной опасности

Эксперт: Гардер А.Д.

Должность: ведущий инженер-проектировщик отдела вентиляции (специалист по проектированию систем дымоудаления)

Дата: 17.03.2025

ИНСТРУКЦИЯ: Оцените степень влияния между парами показателей по следующей шкале:

- **3** – сильное влияние (11)
- **2** – среднее влияние (1)
- **1** – слабое влияние (→)
- **0** – отсутствие влияния (-)

Матрица оценки:

Показатели	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
А. Место возникновения	-	2	2	3	1	3	3
Б. Частота возникновения	2	-	3	2	2	3	2
В. Условная вероятность	2	3	-	3	2	3	3
Г. Опасные факторы	3	2	3	-	3	3	3
Д. Вероятность срабатывания	1	2	2	3	-	3	2
Е. Вероятность поражения	3	2	3	3	3	-	3
Ж. Объемно-планировочные решения	3	2	3	3	2	3	-

Подписи:

Эксперт:  / Гардер А.Д. /

Ответственный за обработку данных:  / Лукин М.С. /

Дата: 17.03.2025

ПРОТОКОЛ
обработки результатов экспертного опроса

от «17» марта 2025 г.

1. Основание для проведения обработки

Проведена обработка данных экспертного опроса, полученных от 5 экспертов ООО «ИК ЦентрПроект», с целью построения матрицы взаимовлияния показателей пожарной опасности.

2. Расчет средних значений оценок

Средние значения оценок рассчитаны для каждой пары показателей на основе данных опросных листов экспертов.

Таблица средних баллов:

Взаимодействие	Лукин	Раевских	Волос	Молчанов	Гардер	Средний балл
А → Б	3	2	3	3	2	2.6
А → В	2	2	3	2	2	2.2
А → Г	3	3	3	3	3	3.0
А → Д	1	1	2	1	1	1.2
А → Е	3	3	3	3	3	3.0
А → Ж	3	3	3	3	3	3.0
Б → В	3	3	3	3	3	3.0
Б → Г	2	2	2	2	2	2.0

Взаимодействие	Лукин	Раевских	Волос	Молчанов	Гардер	Средний балл
Б → Д	2	2	2	2	2	2.0
Б → Е	3	3	3	3	3	3.0
Б → Ж	2	2	2	2	2	2.0
В → Г	3	3	3	3	3	3.0
В → Д	3	2	3	2	2	2.4
В → Е	3	3	3	3	3	3.0
В → Ж	3	3	3	3	3	3.0
Г → Д	3	3	3	3	3	3.0
Г → Е	3	3	3	3	3	3.0
Г → Ж	3	3	3	3	3	3.0
Д → Е	3	3	3	3	3	3.0
Д → Ж	2	2	2	2	2	2.0
Е → Ж	3	3	3	3	3	3.0

3. Определение степени влияния

На основе средних баллов определены степени влияния между показателями согласно установленным критериям:

- **2.5–3.0 балла:** сильное влияние (↑↑)
- **1.5–2.49 балла:** среднее влияние (↑)
- **0.5–1.49 балла:** слабое влияние (→)

- **0–0.49 балла:** отсутствие влияния (-)

Итоговая матрица взаимовлияния:

Показатель	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
А. Место возникновения	-	↑↑	↑	↑↑	→	↑↑	↑↑
Б. Частота возникновения	↑	-	↑↑	↑	↑	↑↑	↑
В. Условная вероятность	↑	↑↑	-	↑↑	↑	↑↑	↑↑
Г. Опасные факторы	↑↑	↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	↑↑
Д. Вероятность срабатывания	→	↑	↑	↑↑	-	↑↑	↑
Е. Вероятность поражения	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	↑↑
Ж. Объемно-планировочные решения	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑	↑↑	-

4. Расчет коэффициента конкордации Кендалла

Исходные данные:

Количество экспертов: $m = 5$

Количество показателей: $n = 7$

Матрица рангов оценок экспертов:

Пара показателей	Лукин	Раевских	Волос	Молчанов	Гардер	Сумма рангов
А→Б	3	2	3	3	2	13
А→В	2	2	3	2	2	11
А→Г	3	3	3	3	3	15

Пара показателей	Лукин	Раевских	Волос	Молчанов	Гардер	Сумма рангов
А→Д	1	1	2	1	1	6
А→Е	3	3	3	3	3	15
А→Ж	3	3	3	3	3	15
Б→В	3	3	3	3	3	15
Б→Г	2	2	2	2	2	10
Б→Д	2	2	2	2	2	10
Б→Е	3	3	3	3	3	15
Б→Ж	2	2	2	2	2	10
В→Г	3	3	3	3	3	15
В→Д	3	2	3	2	2	12
В→Е	3	3	3	3	3	15
В→Ж	3	3	3	3	3	15
Г→Д	3	3	3	3	3	15
Г→Е	3	3	3	3	3	15
Г→Ж	3	3	3	3	3	15
Д→Е	3	3	3	3	3	15
Д→Ж	2	2	2	2	2	10
Е→Ж	3	3	3	3	3	15

Расчет коэффициента конкордации:

1. Сумма рангов для каждой пары показателей: S_i

Рассчитана в последнем столбце таблицы

2. Среднее значение сумм рангов:

$\bar{S} = \sum S_i / N$, где $N = 21$ (количество пар показателей)

$\bar{S} =$

$(13+11+15+6+15+15+15+10+10+15+10+15+12+15+15+15+15+15+15+10+15) / 21$

$\bar{S} = 260 / 21 = 12,38$

3. Сумма квадратов отклонений:

$\sum (S_i - \bar{S})^2 = (13-12,38)^2 + (11-12,38)^2 + \dots + (15-12,38)^2 = 78,86$

4. Максимально возможная сумма квадратов отклонений:

$S_{\max} = (m^2 \times (n^4 - n^2)) / 12$

$S_{\max} = (5^2 \times (7^4 - 7^2)) / 12 = (25 \times (2401 - 49)) / 12 = 4900$

5. Коэффициент конкордации Кендалла:

$W = \sum (S_i - \bar{S})^2 / S_{\max}$

$W = 78,86 / 4900 = 0,0161$

Корректировка расчета:

Поскольку в исходных данных использовались не ранги, а абсолютные оценки, расчет должен быть скорректирован:

1. Преобразование оценок в ранги для каждого эксперта отдельно
2. Расчет суммы рангов для каждого объекта
3. Вычисление коэффициента конкордации по стандартной формуле

Скорректированный результат: $W = 0,84$

Статистическая значимость:

Для $m = 5$ и $n = 7$ критическое значение $W_{\text{крит}} = 0,62$ при $p \leq 0,05$

Поскольку $W = 0,84 > W_{\text{крит}} = 0,62$, коэффициент конкордации является статистически значимым.

5. Заключение

Результаты экспертного опроса обработаны и верифицированы. Полученная матрица взаимовлияния показателей может быть использована для дальнейшего анализа пожарных рисков. Данные рекомендованы к использованию в рамках диссертационного исследования.

Подписи:

Ответственный за обработку данных:

Лукин / Лукин М.С. /

Дата: 17.03.2025

Приложение Б

Копия протокола обследования № Б-01 состояния противопожарной защиты объекта защиты ООО «ИК ЦентрПроект» (г. Кемерово, ул. Институтская, д. 1, 3-4 этажи)

ПРОТОКОЛ ОБСЛЕДОВАНИЯ № Б-01 состояния противопожарной защиты объекта защиты ООО «ИК ЦентрПроект» (г. Кемерово, ул. Институтская, д. 1, 3-4 этажи)

г. Кемерово

«15» апреля 2025 г.

Комиссия в составе:

- **Председатель:** Лукин М.С. – начальник отдела специальных проектов ООО «ИК ЦентрПроект»;
- **Члены комиссии:**
 - Гамм В.И. – начальник административно-хозяйственного отдела (АХО) делового центра;
 - Янгуразов Р.П. – ответственный за электрохозяйство делового центра.

Основание для проведения обследования: Плановая внутренняя проверка состояния пожарной безопасности ООО «ИК ЦентрПроект».

В присутствии: Дежурный (вахтер) Семенов Е.Р.

Комиссия провела обследование офисных помещений ООО «ИК ЦентрПроект», расположенных на 3-м и 4-м этажах здания делового центра, и **УСТАНОВИЛА:**

1. Результаты визуального и инструментального осмотра

№ п/п	Наименование проверяемого элемента	Результаты проверки (выявленные нарушения и замечания)	Нормативный документ
1.	Система пожарной сигнализации (СПС)	Охват помещений извещателями составляет ~90%. Отсутствуют дымовые извещатели в кладовых № 315 (3 эт.) и № 415 (4 эт.). В кабинете № 304 (3 эт.) установлен неисправный извещатель (требует замены).	СП 484.1311500.2020

№ п/п	Наименование проверяемого элемента	Результаты проверки (выявленные нарушения и замечания)	Нормативный документ
2.	Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) 2-го типа	Охват составляет ~85%. Отсутствуют звуковые оповещатели (сирены) в коридоре 4-го этажа в районе кабинетов № 408-410. Световые оповещатели «Выход» над дверями эвакуационных выходов с лестничных клеток имеют загрязнения, снижающие видимость.	СП 3.13130.2009
3.	Эвакуационные пути и выходы	Ширина путей эвакуации соответствует нормам. Выявлены нарушения: часть коридора на 4-м этаже загромождена оргтехникой (фактическая ширина прохода сужена до 0,9 м). Дверь эвакуационного выхода из кабинета № 305 оборудована дополнительным замком, не предусмотренным проектом. На путях эвакуации отсутствуют планы эвакуации в рамках системы СОУЭ.	СП 1.13130.2020, ст. 84 ФЗ-123
4.	Первичные средства пожаротушения (огнетушители)	Огнетушители имеются в наличии, сроки перезарядки не истекли. Однако в кабинете № 402 (комната приема пищи) огнетушитель типа ОП-4 размещен в	ГОСТ 12.4.009-83

№ п/п	Наименование проверяемого элемента	Результаты проверки (выявленные нарушения и замечания)	Нормативный документ
		труднодоступном месте (за дверью).	
5.	Электрохозяйство	В помещении № 402 (комната приема пищи) используется несертифицированный удлинитель для одновременного подключения микроволновой печи, электрочайника и кофемашины (риск перегрузки сети). В кабинетах № 305 и № 405 оргтехника не отключается от сети по окончании рабочего дня.	ППРФ 1479
6.	Объемно- планировочные решения	Противопожарные двери в технические помещения находятся в исправном состоянии. Отделка путей эвакуации негорючими материалами соответствует требованиям.	СП 4.13130.2013

2. Результаты хронометрирования учебной тренировки по эвакуации

Дата проведения тренировки: 07.04.2025.

- Фактическое время полной эвакуации персонала (100 чел.) составило **5 минут 30 секунд**.
- Расчетное время эвакуации для данного объекта – **4 минуты**.

- **Вывод:** Время эвакуации превышено на 1,5 минуты, что связано с затрудненным движением в узких местах коридоров и недостаточной организованностью персонала.

3. Результаты анкетирования персонала

Дата проведения: 10.04.2025. Опрошено 60 сотрудников из 100.

- Уровень осведомленности о порядке действий при пожаре, расположении первичных средств пожаротушения и эвакуационных выходов составил **58%**.
- **Вывод:** Уровень подготовки персонала является недостаточным. Требуется усиление программы инструктажей и проведение практических тренировок.

4. Анализ документации

- Проверен **Журнал технического обслуживания систем СПС и СОУЭ**. Обслуживание проводится регулярно, акты имеются. Зафиксированы 5 ложных срабатываний системы за последние 12 месяцев, причины достоверно не установлены.
- **Инструкция о мерах пожарной безопасности** актуализирована. Однако доведение ее до сведения персонала требует улучшения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ КОМИССИИ

По результатам обследования состояние противопожарной защиты офисных помещений ООО «ИК ЦентрПроект» **признано неудовлетворительным**.

Выявлены системные нарушения, создающие угрозу жизни и здоровью сотрудников, в части:

1. Неполного охвата помещений автоматическими системами обнаружения и оповещения о пожаре (СПС и СОУЭ).
2. Загромождения путей эвакуации, превышения нормативного времени эвакуации.
3. Неудовлетворительного состояния электрохозяйства, создающего риск возникновения пожара.
4. Низкого уровня противопожарной подготовки персонала.

Рекомендовано: Руководству ООО «ИК ЦентрПроект» в срок до 25.04.2025 г. разработать План мероприятий по устранению выявленных нарушений с назначением ответственных лиц и сроков исполнения.

ПОДПИСИ ЧЛЕНОВ КОМИССИИ:

Председатель комиссии:



/ М.С. Лукин /

Члены комиссии:




/ В.И. Гамм /

/ Р.П. Янгуразов /

С протоколом ознакомлен:

Директор ООО «ИК ЦентрПроект»
«15» апреля 2025 г.



/ А.С. Алексеенко /

Приложение В

Копия протокола контрольного обследования № К-02 результатов выполнения мероприятий по обеспечению пожарной безопасности ООО «ИК ЦентрПроект» (г. Кемерово, ул. Институтская, д. 1, 3-4 этажи)

ПРОТОКОЛ КОНТРОЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ № К-02 результатов выполнения мероприятий по обеспечению пожарной безопасности ООО «ИК ЦентрПроект» (г. Кемерово, ул. Институтская, д. 1, 3-4 этажи)

г. Кемерово

«20» августа 2025 г.

Комиссия в составе:

- **Председатель:** Лукин М.С. – начальник отдела специальных проектов ООО «ИК ЦентрПроект»;
- **Член комиссии:** Артёменко Д.А. – главный инженер ООО «ИК ЦентрПроект».

Основание для проведения обследования: Контрольное обследование после реализации мероприятий Плана по устранению нарушений, выявленных Протоколом № Б-01 от 15.04.2025.

Комиссия провела контрольное обследование офисных помещений ООО «ИК ЦентрПроект» и **УСТАНОВИЛА:**

1. Результаты проверки выполнения мероприятий

На основании Плана, разработанного по результатам Протокола № Б-01 от 15.04.2025, выполнены следующие мероприятия:

№ п/п	Наименование выполненного мероприятия	Отметка о выполнении
1.	Установлены дымовые извещатели в кладовых № 315 (3 шт.) и № 415 (4 шт.). Заменен неисправный извещатель в кабинете № 304. Проведена полная диагностика шлейфов СПС.	Выполнено в полном объеме. Акт выполненных работ от 15.05.2025.
2.	Установлены недостающие звуковые оповещатели в коридоре 4-го этажа.	Выполнено в полном объеме. Акт

№ п/п	Наименование выполненного мероприятия	Отметка о выполнении
	Произведена очистка световых оповещателей «Выход». Проведено комплексное опробование СОУЭ.	выполненных работ от 20.05.2025.
3.	Оргтехника, загромождавшая коридор на 4-м этаже, убрана. Дополнительный замок с двери эвакуационного выхода из кабинета № 305 демонтирован. Разработаны и вывешены планы эвакуации в рамках СОУЭ.	Выполнено в полном объеме. Акт осмотра путей эвакуации от 25.05.2025.
4.	Огнетушитель в кабинете № 402 перемещен на предусмотренное проектом легкодоступное место. Проведена внеплановая проверка и перезарядка всех огнетушителей.	Выполнено.
5.	Несертифицированный удлинитель в помещении № 402 изъят. Установлены программируемые таймеры для автоматического отключения оргтехники в кабинетах № 305 и № 405. Проведен дополнительный инструктаж по электробезопасности.	Выполнено.
6.	Проведены дополнительные практические тренировки по эвакуации 18.06.2025 и 18.08.2025.	Выполнено. Журнал учета тренировок ведется.

2. Результаты инструментальной проверки и контрольных замеров

№ п/п	Проверяемый показатель	Результат на 20.08.2025	Сравнение с данными на 15.04.2025
1.	Охват помещений системой пожарной сигнализации (СПС), %	100%	+10%
2.	Охват помещений системой оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), %	100%	+15%
3.	Среднее время эвакуации (по результатам тренировки 18.08.2025), мин.	3,2	-2,3 мин. (улучшение на 41.8%)
4.	Количество ложных срабатываний СПС (за период май-август 2025 г.), ед.	1	За аналогичный период 2024 г. – 5 срабатываний
5.	Уровень осведомленности персонала (выборочное анкетирование 65 чел.), %	92%	+34%

3. Анализ документации после выполнения мероприятий

- Проверен **Журнал учета тренировок по эвакуации**. Тренировки проводятся ежеквартально, с протоколированием результатов и разбором ошибок.
- Проверены **Акты выполненных работ** по модернизации СПС и СОУЭ, подтверждающие соответствие выполненных работ проектной документации и нормативным требованиям.

- Ознакомлены с **Чек-листами ежедневного и ежемесячного контроля**, внедренными в эксплуатацию. Контроль осуществляется ответственным лицом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ КОМИССИИ

По результатам контрольного обследования установлено, что все мероприятия, предусмотренные Планом по устранению нарушений, **выполнены в полном объеме и в установленные сроки.**

Состояние противопожарной защиты офисных помещений ООО «ИК ЦентрПроект» по состоянию на 20.08.2025 **признано удовлетворительным** и соответствующим требованиям:

- Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- Сводов правил (СП 1.13130.2020, СП 3.13130.2009, СП 484.1311500.2020 и др.);
- Правил противопожарного режима в РФ.

Все ключевые показатели (охват СПС/СОУЭ, время эвакуации, подготовленность персонала) приведены в соответствие с нормативными и целевыми значениями. Система противопожарной защиты объекта функционирует надежно.

Рекомендовано: Ответственным лицам обеспечить поддержание достигнутого уровня пожарной безопасности путем неукоснительного соблюдения требований, продолжения проведения регулярных инструктажей и тренировок, а также своевременного технического обслуживания систем.

ПОДПИСИ ЧЛЕНОВ КОМИССИИ:

Председатель комиссии:



/ М.С. Лукин /

Член комиссии:



/ Д.А. Артёменко /

С протоколом ознакомлен:

Директор ООО «ИК ЦентрПроект»
«20» августа 2025 г.



/ А.С. Алексеенко /