

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 Анализ и прогнозирование тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах и пути снижения пожарных рисков

Обучающийся

А.Н. Исаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент В.А. Щипанов

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

Консультант

к.э.н., доцент Т.Ю. Фрезе

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

Тольятти 2024

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| Термины и определения | 8 |
| Перечень сокращений и обозначений..... | 9 |
| 1 Особенности возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях ОПО, оценка риска и расчет последствий пожаровзрывоопасных аварий на производстве..... | 10 |
| 1.1 Классификация и оценка рисков возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях | 10 |
| 1.2 Методы оценки вероятности возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях | 12 |
| 1.3 Оценка риска и расчет последствий пожаровзрывоопасных аварий на производстве..... | 15 |
| 2 Разработка и внедрение новых технологий и нового оборудования в организации для снижения пожарных рисков | 23 |
| 2.1 Организационные средства и методы управления..... | 23 |
| 2.2 Технологические средства и методы управления..... | 30 |
| 3 Опытно-экспериментальная апробация предлагаемых путей снижения пожарных рисков..... | 45 |
| 3.1 Внедрение предлагаемых решений по снижению пожарных рисков | 45 |
| 3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации..... | 68 |
| Заключение | 74 |
| Список используемых источников..... | 77 |

Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования обусловлена решением задачи прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах и пути снижения пожарных рисков.

Законодательство Российской Федерации направлено на снижение тяжести последствий пожароопасных аварий на предприятиях, посредством утверждения требований к различным аспектам, влияющих на пожарную безопасность. Разработка и внедрение мер по предотвращению пожаров, минимизации их последствий и снижения пожарного риска в целом заключается в выполнении ряда мероприятий, которые могут различаться, в зависимости от особенностей рассматриваемого объекта. Прогнозирование тяжести последствий позволяет своевременно разрабатывать и выполнять организационные мероприятия для предотвращения аварий или минимизации их негативных последствий, что обеспечивает безопасность на промышленных объектах и защиту окружающей среды от негативного воздействия пожаров и взрывов.

Прогнозирование тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах имеет ряд особенностей, связанных с характером и масштабом возможных разрушений, а также с воздействием на окружающую среду. Одной из основных особенностей является то, что пожары и взрывы могут вызвать быстрое распространение пламени и ударных волн, что увеличивает риск гибели людей и причинения значительного ущерба.

Кроме того, при прогнозировании необходимо учитывать специфические характеристики производственных объектов, такие как наличие легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ, а также особенности технологического процесса. Также важно учитывать возможность возникновения вторичных поражающих факторов, таких как

тепловое излучение, токсичные газы и аэрозоли, образующиеся при горении и взрыве.

Объект исследования: процесс прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий.

Предмет исследования: технологии, методы и средства анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах.

Цель исследования: разработать блок-схему и технологию поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах с помощью современных методов.

Гипотеза исследования состоит в том, что снижение пожарных рисков будет обеспечено, если:

- будут проанализированы технологии, методы, средства анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах;
- предложены пути снижения пожарных рисков посредством применения технологий, методов и средств анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах;
- будет выполнен сравнительный анализ методов и средств анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах;
- разработана блок-схема и технология поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах с помощью современных методов прогнозирования;
- проведен анализ и оценка эффективности мероприятий по снижению пожарных рисков.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ теоретических аспектов прогнозирования тяжести последствий пожаров;
- дать характеристику современным методам, технологиям, средствам анализа и прогнозирования тяжести последствий;
- провести сравнительный анализ технических и эксплуатационных характеристик технологий, методов, средств по применимости и использованию в целях прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах;
- обосновать применение технологии, методов и средств анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах, для использования в магистерской диссертации;
- разработать и внедрить блок-схему и технологию поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах с помощью современных методов прогнозирования;
- провести анализ и оценку эффективности мероприятий по снижению пожарных рисков.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: нормативно-техническая документация РФ в исследуемой области, научный обзор российских и зарубежных исследований.

Методы исследования: теоретический, статистический, математическое моделирование, дедуктивный, сравнительный, расчетный, экспериментальные исследования (анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий).

Опытно-экспериментальная база исследования – ООО «Противопожарные Технологии НиС».

Научная новизна исследования заключается в разработке блок-схемы и технологии поэтапного проведения прогноза тяжести последствий

пожаровзрывоопасных аварий на производствах с помощью современных методов прогнозирования.

В работе представлена модель учета факторов тяжести последствий пожароопасных аварий, этапы прогнозирования и, на основе полученных результатов предложены пути решения по снижению пожарных рисков для конкретного предприятия.

Теоретическая значимость исследования заключается в применении процедуры прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий.

Практическая значимость исследования заключается в разработке и применении блок-схемы и технологии поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах с помощью современных методов прогнозирования; результатах анализа и оценки эффективности ООО «ПротивоПожарныеТехнологии НиС» с целью снижения пожарных рисков.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- данными оценки эффективности мероприятий по применению разработанной процедуры, с целью снижения пожарных рисков на производствах;
- публикацией статьи «Прогнозирование тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях» / Международный научно-практический журнал «Экономика и социум», № 02(117) 2024 - ISSN 2225-1545.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в разработке блок-схемы и технологии поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах с помощью современных методов прогнозирования.

Автор лично провел сравнительный анализ методов и средств анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты размещены в международном научно-практическом журнале «Экономика и социум», № 02(117) 2024 г.

На защиту выносятся:

- результаты анализа научных источников и нормативных документов по теме магистерской диссертации;
- результаты анализа особенностей прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах и пути снижения пожарных рисков;
- блок-схема и технология поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах посредством современных методов прогнозирования;
- результаты анализа и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации.

Структура магистерской диссертации: работа состоит из 3 разделов, заключения, содержит 17 рисунков, 15 таблиц, список использованной литературы содержит 40 источников. Основной текст работы изложен на 82 страницах.

Термины и определения

Блок-схема – графическое представление процесса или системы.

«Математическое моделирование – идеальное научное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов» [1].

«Пожаровзрывоопасный объект – объект, на котором производят, используют, перерабатывают, хранят или транспортируют легковоспламеняющиеся и пожаровзрывоопасные вещества, создающие реальную угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации» [15].

«Прогнозирование тяжести последствий пожара – процесс оценки возможных последствий пожара на основе анализа различных факторов, таких как тип и количество горючих материалов, размер и планировка здания, наличие систем пожаротушения и эвакуации, а также метеорологические условия» [7].

«Статистический метод – совокупность взаимосвязанных специфических приемов и способов исследования, направленных на изучение количественных закономерностей, проявляющихся в структуре, динамике и взаимосвязях» [26].

Тяжесть последствия пожара – оценка ущерба, нанесенного пожаром, которая включает в себя как материальные потери, так и вред, причиненный жизни и здоровью людей.

Перечень сокращений и обозначений

ВНС – верхнее нежелательное событие.

ОФП – опасные факторы пожара.

ПБ – пожарная безопасность.

ПО – программное обеспечение.

ГПС – государственная противопожарная служба.

ИД – индекс доходности.

КЭН – карбидокремнивые электрические нагреватели.

НПБ – нормы пожарной безопасности.

ОВП – вспучивающиеся огнезащитные покрытия.

ОФК – ортофосфорная кислота.

ПСО – пожарно-спасательный отряд.

СК – строительные конструкции.

ФЗ – федеральный закон.

ФПС – федеральная противопожарная служба.

CFD – computational fluid dynamics modeling (полевые модели третьего поколения в математическом моделировании).

CFD-FDS – computational fluid dynamics-fire dynamics simulator (вычислительная гидродинамика - симулятор динамики пожара).

FDS – fire dynamics simulator (симулятор динамики пожара).

FLACS – fire growth and smoke transport model (модель роста пожара и переноса дыма).

FTA – fault tree analysis (анализ деревьев отказов).

РНА – process hazard analysis (оценка риска аварий).

1 Особенности возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях ОПО, оценка риска и расчет последствий пожаровзрывоопасных аварий на производстве

1.1 Классификация и оценка рисков возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях

Классификация рисков возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях может быть основана на различных факторах, таких как тип производства, используемые материалы, оборудование и процессы. Например, можно разделить риски на основе вероятности возникновения аварии, степени ее воздействия на окружающую среду и здоровье людей, а также возможности предотвращения или смягчения последствий аварии.

Согласно «статье 2 Закона № 123-ФЗ, существуют следующие виды пожарных рисков» [33]:

- «индивидуальный пожарный риск — степень опасности, которая может привести к смерти человека в результате пожара и сопутствующих факторов;
- социальный пожарный риск — степень опасности, которая может повлечь гибель группы людей;
- допустимый пожарный риск — показатель опасности, который допустим и обоснован исходя из экономическо-социальных условий» [33].

«Спрогнозировать тяжесть последствия пожара можно путем проведения расчета оценки пожарного риска. Оценка пожарного риска подтверждает соответствие объекта требованиям ПБ, которые установлены федеральными законами и техническими регламентами. Оценка риска констатирует реальное состояние сооружения и предлагает комплекс противопожарных мероприятий, повышающих уровень безопасности объекта» [25].

«Расчет пожарных рисков проводят не только для прогнозирования тяжести последствий пожароопасных инцидентов, но и в тех случаях, когда предприятие не может устранить все нарушения требований пожарной безопасности на своем объекте» [28]. Корректная оценка рисков пожарной безопасности поможет решить проблемы, которые появляются при возникновении пожара и снизит пожарные риски на предприятие.

Таким образом, пожарный риск и прогнозирование тяжести последствий пожароопасных ситуаций связаны между собой. Прогнозирование позволяет оценить возможные последствия пожара и определить степень риска для жизни и здоровья людей, а также оценить возможный ущерб имуществу и окружающей среде. На основе этого можно принять меры для снижения риска возникновения пожара или уменьшения его последствий.

Независимая оценка рисков, аудит ПБ (пожарный аудит) – это «комплексное пожарно-техническое обследование, в ходе которого определяется, насколько безопасны исследуемые объекты и какие пути необходимо выбрать для обеспечения безопасности. В комплекс мероприятий такого обследования входят анализ документов, обследование помещения или строения, проведение (в случае необходимости) экспертиз, исследований, расчет пожарного риска» [27].

Пожарный аудит и прогнозирование тяжести последствий пожара также связаны между собой. Аудит пожарной безопасности позволяет оценить текущее состояние системы ПБ на предприятии и выявить возможные недостатки и угрозы. Прогнозирование последствий пожара, в свою очередь, помогает определить степень риска и возможные последствия в случае возникновения пожара. На основе результатов аудита и прогнозирования также можно разработать меры по улучшению системы пожарной безопасности и снижению риска пожара.

Декларация ПБ также может помочь в прогнозировании тяжести последствий возможных пожароопасных инцидентов и разработать пути

снижения пожарных рисков – «форма оценки соответствия принятых мер ПБ, направленных на обеспечение на объекте защиты нормативного значения пожарного риска. В этом документе описаны – какие требования пожарной безопасности выполняются на объекте для обеспечения допустимого значения пожарного риска» [33].

Декларация ПБ проводится для определения степени риска возникновения пожара и оценки возможных последствий. Это позволяет разработать меры по предотвращению пожаров и снижению их последствий, а также определить требования к системам пожарной безопасности на объекте.

Прогнозирование тяжести последствий пожароопасных ситуаций выполняется с помощью различных методов и технологий, которые будут рассмотрены в следующем разделе.

1.2 Методы оценки вероятности возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях

«Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности определена в Приказе МЧС России от 14.11.2022 № 1140» [17].

«Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах утверждена Приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404» [18].

Прогнозирование тяжести последствий пожара на производствах, в первую очередь, необходимо для эффективного управления пожарной безопасностью. Рассмотрим подходы, применяемые к оценке вероятности возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях. Научный подход включает в себя методы и способы достижения цели.

Системный подход позволяет более точно оценить последствия пожара и разработать наиболее эффективные меры по предотвращению и ликвидации пожара. Исследователи Еналеев Р.Ш., Теляков Э.Ш., Красина И.В., Гасилов В.С., Тучкова О.А., Кононенко Е.В., Миронов А.Н., Масаев С.Н., Минкин А.Н., Едимичев Д.А. и другие предлагают системный подход в прогнозировании последствий воздействия опасных факторов пожара [6], [10], [11], [31].

Системный подход в прогнозировании последствий воздействия опасных факторов пожара – это метод, при котором учитываются все возможные факторы, влияющие на развитие пожара и его последствия. Подход включает в себя анализ следующих параметров:

- характеристики здания или сооружения (размеры, конструкция, материалы, наличие систем пожаротушения и т.д.);
- особенности производственного процесса (наличие горючих и взрывоопасных материалов, использование открытого огня, применение источников повышенной температуры и т.п.);
- поведение людей в условиях пожара (скорость и направление движения, возможность эвакуации, использование средств индивидуальной защиты и т.д.);
- метеорологические условия (температура, влажность, скорость и направление ветра, осадки и т.д.);
- наличие и состояние средств пожаротушения, пожарной сигнализации и связи;
- возможность привлечения дополнительных сил и средств для тушения пожара.

Риск-ориентированный подход при прогнозировании последствий пожарной безопасности предлагают к эффективному использованию Щербина В.И., Дали Ф.А., Кононенко Е.В., Мокроусова О.А., Черкасский Г.А., Миронов А.Н. и другие [35], [5], [11]. Риск-ориентированный подход в прогнозировании тяжести последствий пожара заключается в оценке

вероятности возникновения пожара и его последствий для жизни и здоровья людей, имущества и окружающей среды. Этот подход предполагает проведение анализа риска, который включает в себя идентификацию опасностей, оценку их вероятности и последствий, а также разработку мер по снижению риска. При прогнозировании тяжести последствий пожара учитываются различные факторы, такие как тип и количество горючих материалов, наличие систем противопожарной защиты, скорость распространения пожара, условия окружающей среды и т. д. На основе этих данных определяются возможные сценарии развития пожара и оцениваются его последствия для различных объектов и территорий. Риск-ориентированный подход позволяет определить наиболее опасные зоны и объекты, на которых необходимо принять дополнительные меры безопасности. Это может включать установку дополнительных систем пожаротушения, улучшение систем оповещения и эвакуации, проведение обучения персонала и т. д. Кроме того, данный подход позволяет оценить эффективность уже принятых мер и определить необходимость их корректировки или дополнения.

Капровская Н.Н. считают эффективным метод статистических данных при прогнозировании последствий и ущерба от пожаров [8]. Статистический метод прогнозирования последствий пожара эффективен в тех случаях, когда имеется достаточно данных о предыдущих пожарах и их последствиях. Этот метод позволяет определить вероятности различных исходов пожара, таких как количество пострадавших, ущерб от пожара и т.д. Однако следует отметить, что статистический метод не всегда может дать точные результаты, так как каждый пожар уникален и может иметь свои особенности, которые не учитываются в статистике.

Спрогнозировать последствия тяжести пожара математическим методом предлагают исследователи Решетников А.В., Пешехонова М.А., Александренко М. В., Акулова М. В., Ибрагимов А. М., Мальков Д.М., Берестова С. А. [1], [12], [2]. Математический метод прогнозирования

последствий пожара основан на использовании математических моделей, которые позволяют рассчитать различные параметры пожара, такие как температура, концентрация кислорода, скорость распространения пламени и т.д. Этот метод эффективен в том случае, если имеется достаточно информации о пожаре и его параметрах, а также если модель, используемая для прогнозирования, является достаточно точной. Однако, следует учитывать, что математические модели не всегда могут точно отражать реальные условия пожара, поэтому для получения более точных результатов необходимо использовать и другие методы прогнозирования.

Основы прогнозирования последствий пожаров для научных исследований и управления в своих работах рассматривают авторы Matthew B. Dickinson, Kevin K. Ryan. Они отмечают, что в настоящее время, в возможностях прогнозирования тяжести последствий пожароопасных аварий, имеются пробелы. Авторы предлагают систематизировать технологии измерений прогнозирования до, после активного и послепожарного периода [39].

Прогнозирование вероятности крупных пожаров исследуют авторы Bradstock, R.A., Cohn J. S., Gil A.M., Bedward M., Lucas K. [37].

Применение статистики для прогнозирования тяжести последствий взрывопожароопасных ситуаций предлагают также исследователи Chuvieso E., G. Louis, C. Justice в своей статье «Глобальная характеристика пожарной активности: к определению режимов пожаров на основе данных наблюдений и статистики» [38].

1.3 Оценка риска и расчет последствий пожаровзрывоопасных аварий на производстве

Оценка риска и расчет последствий пожаровзрывоопасных аварий на производстве необходим для определения степени риска и оценки возможных последствий аварии для окружающей среды, здоровья людей и

имущества. Это позволяет разработать меры по предотвращению или минимизации последствий аварии, а также определить необходимые ресурсы для ликвидации последствий аварии.

С помощью расчета оценки рисков, пожарного аудита и декларации ПБ определяют наиболее опасные зоны на предприятии с точки зрения пожарной безопасности.

Для снижения тяжести последствий пожароопасных ситуаций на предприятии планируют и организуют спасательные и противопожарные мероприятия, проводят тренировочные мероприятия по эвакуации персонала, обучение персонала действиям в случае пожара и проверка знаний в области ПБ. В обязательном порядке разрабатывают планы эвакуации и инструкции для персонала.

На предприятии в рабочем состоянии должны располагаться необходимые ресурсы (оборудование, персонал, средства пожаротушения) для борьбы с пожаром, в случае его возникновения.

Прогнозирование тяжести последствий возможных пожаров, как правило, осуществляется специалистами в области пожарной безопасности на предприятии. В систему управления ПБ входят сотрудники, ответственные за обеспечение ПБ на предприятии, а также работники, выполняющие функции по предотвращению возникновения пожаров и ликвидации их последствий. Управление пожарной безопасностью на предприятии необходимо для обеспечения безопасности и защиты имущества от ущерба. Оно также помогает соблюдать законодательные требования и улучшает имидж компании. Улучшение системы управления пожарной безопасностью на предприятии также позволит снизить пожарные риски.

Прогнозирование поведения и последствий пожаров рассматривают в своих исследованиях Ahmed M. Salem, Heba Leheta. Исследователи считают, что анализ последствий является важной частью метода оценки риска, при

котором модели последствий пожара должны использоваться для прогнозирования сценария пожара [36].

Важность проектирования пожарной безопасности на предприятиях в своих исследованиях рассматривает Salem A [40]. Он отмечает, что проектирование пожарной безопасности на предприятиях является одним из ключевых аспектов обеспечения безопасности рабочих и предотвращения ущерба от возможных пожаров. Важность данного процесса заключается в следующем:

- защита жизни и здоровья людей;
- снижение материальных потерь;
- соответствие законодательству. Во многих странах существуют строгие нормы и стандарты для проектирования и обеспечения ПБ на предприятиях. Соблюдение этих норм является обязательным и может стать причиной серьезных санкций в случае несоблюдения [40].

Важность и необходимость проведения анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах, а также поиск путей снижения пожарных рисков отражены также в нормативно-законодательных актах РФ. Законодательство Российской Федерации направлено на снижение тяжести последствий пожароопасных аварий на предприятиях, посредством утверждения требований к различным аспектам, влияющих на пожарную безопасность.

«Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» «определяет общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в РФ, регулирует в этой области отношения между органами государственной власти, органами местного самоуправления, общественными объединениями, юридическими лицами, должностными лицами, гражданами» [13].

«Анализ последствий тяжести пожара является важным этапом при проектировании пожарной безопасности на предприятии. Необходимость

проведения такого анализа указана в следующих нормативных документах. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «определяет нормативные значения пожарного риска для производственных объектов, порядок проведения анализа пожарной опасности производственного объекта и расчета пожарного риска» [33].

«ГОСТ Р 12.3.047-2012 определяет требования пожарной безопасности к технологическим процессам, осуществляемым на предприятиях. В стандарте также описаны методы контроля» [29].

«Общие требования пожарной безопасности утверждены в ГОСТ 12.1.004-91» [30].

«Технический регламент о безопасности зданий и сооружений, в том числе, пожарной безопасности, регламентирован Федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ» [32].

«Порядок и критерии отнесения объектов защиты к определенной категории риска регламентированы в Постановлении Правительства РФ от 12.04.2012 № 290» [16].

Приказ от 21 ноября 2008 г. № 714 регламентирует «порядок учета пожаров и регулирует вопросы официального статистического учета пожаров и их последствий» [19].

«Порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска утвержден в Постановлении Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084» [14].

«Прогнозирование тяжести последствий пожара является процессом оценки возможных последствий пожара на основе анализа различных факторов, таких как тип и количество горючих материалов, размер и планировка здания, наличие систем пожаротушения и эвакуации, а также метеорологические условия. Целью прогнозирования является определение степени риска для жизни и здоровья людей, а также оценка возможного ущерба имуществу и окружающей среде» [19].

Модель учета факторов тяжести последствий пожара проводится на основе анализа следующих аспектов, представленных на рисунке 1.



Рисунок 1 – Модель учета факторов тяжести последствий пожара

«Все эти факторы, по итогам анализа и прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий учитываются с целью разработки путей снижения пожарного риска» [19].

«Тяжесть последствия пожара – это оценка ущерба, нанесенного пожаром, которая включает в себя как материальные потери, так и вред, причиненный жизни и здоровью людей» [19].

Тяжесть последствий пожара определяется с целью принятия мер по предотвращению подобных инцидентов в будущем, а также для компенсации ущерба пострадавшим сторонам. На тяжесть последствия пожаров также влияет несоблюдение требований ПБ в зданиях и сооружениях предприятия:

- «отсутствие естественной вентиляции;
- узкие пути эвакуации, лестничные марши и малометражные площадки лестничных клеток;
- нарушение уклона эвакуационных лестниц;
- недостаточное количество выходов из отдельных помещений, с этажа и/или здания в целом;
- плохая освещенность путей эвакуации;
- отсутствие системы дымоудаления, пожаротушения, сигнализации или внутреннего противопожарного водопровода» [19].

Прогнозирование тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на производствах имеет ряд особенностей, связанных с характером и масштабом возможных разрушений, а также с воздействием на окружающую среду. Одной из основных особенностей является то, что пожары и взрывы могут вызвать быстрое распространение пламени и ударных волн, что увеличивает риск гибели людей и причинения значительного ущерба.

Кроме того, при прогнозировании необходимо учитывать специфические характеристики производственных объектов, такие как наличие легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ, а также особенности технологического процесса. Также важно учитывать возможность возникновения вторичных поражающих факторов, таких как тепловое излучение, токсичные газы и аэрозоли, образующиеся при горении и взрыве.

На предприятиях прогнозирование тяжести последствий пожара осуществляется с помощью специализированных программ и методик, которые учитывают различные факторы, такие как тип и количество горючих материалов, размеры и планировка здания, наличие систем пожаротушения и

эвакуации, метеорологические условия и другие параметры. На основе этих данных программа позволяет оценить степень риска для жизни и здоровья людей, а также возможный ущерб имуществу и окружающей среде. Для прогнозирования тяжести последствий пожара на предприятиях используют такие методы, как: статистический анализ, математический, метод моделирование пожара, оценки риска, экспертные оценки и другие.

Прогнозирование тяжести последствий пожара может отличаться в зависимости от отрасли предприятия. Например, на предприятиях химической промышленности могут использоваться более сложные модели прогнозирования, учитывающие специфические свойства химических веществ и их взаимодействие с окружающей средой.

Также на разных предприятиях могут использоваться разные системы пожаротушения и эвакуации, что также может влиять на результаты прогнозирования. Однако базовые принципы и методы прогнозирования тяжести последствий пожара являются универсальными и могут быть адаптированы для использования на предприятиях различных отраслей.

На тяжесть последствий пожара влияют также состояние эвакуационных путей и выходов. «Свод правил СП 1.13130.2020 регламентирует требования к данным системам противопожарной защиты» [20].

«Требования к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре регламентированы в следующих нормативных актах: Приказ МЧС России от 20.07.2020 № 539, Приказ МЧС России от 31.08.2020 № 628, Приказ МЧС России от 31.07.2020 № 582, Постановление Правительства РФ от 01.09.2021 № 1464» [20], [22], [21], [23].

Таким образом, разработка и внедрение мер по предотвращению пожаров, минимизации их последствий и снижения пожарного риска в целом

заключается в выполнении ряда мероприятий, которые могут различаться, в зависимости от особенностей рассматриваемого объекта.

Выводы по разделу: выявлено, что заявленная тема магистерской диссертации актуальна, что отражено в исследованиях, как отечественных, так и зарубежных авторов. Законодательство Российской Федерации направлено на снижение тяжести последствий пожароопасных аварий на предприятиях, посредством утверждения требований к различным аспектам, влияющих на пожарную безопасность. Разработка и внедрение мер по предотвращению пожаров, минимизации их последствий и снижения пожарного риска в целом заключается в выполнении ряда мероприятий, которые могут различаться, в зависимости от особенностей рассматриваемого объекта. Прогнозирование тяжести последствий пожароопасных ситуаций выполняется с помощью различных методов и технологий, которые будут рассмотрены в следующем разделе.

2 Разработка и внедрение новых технологий и нового оборудования в организации для снижения пожарных рисков

2.1 Организационные средства и методы управления

Тема магистерской диссертации «Анализ и прогнозирование тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах и пути снижения пожарных рисков» является актуальной, поскольку прогнозирование необходимо не только для определения уровня риска и оценки безопасности на промышленных объектах, где возможны пожары или взрывы, но и также, для выбора наиболее эффективных мер и средств предотвращения пожаров и взрывов, а также ограничения их последствий, планирования и проведения мероприятий по ликвидации пожаров и последствий взрывов, оценки ущерба и определения компенсационных мер для пострадавших от аварий, анализа эффективности существующих систем безопасности, разработки и внедрения новых технологий и стандартов, принятия решений о необходимости модернизации и реконструкции промышленных объектов с учетом требований пожарной и взрывобезопасности, проведения обучения и инструктажа персонала о действиях в случае возникновения пожаров и взрывов.

Прогнозирование тяжести последствий позволяет своевременно разрабатывать и выполнять организационные мероприятия для предотвращения аварий или минимизации их негативных последствий, что обеспечивает безопасность на промышленных объектах и защиту окружающей среды от негативного воздействия пожаров и взрывов [26].

При прогнозировании тяжести последствий возможных пожароопасных ситуаций на производстве необходимо оценить эффективность систем пожаротушения: проверить работоспособность систем пожаротушения и их способности быстро и эффективно ликвидировать пожар.

К средствам управления относят инструменты или материалы, которые используются для достижения какой-либо цели. Например, СИЗ, такие как маски, перчатки и защитные очки, используются для защиты работников от опасных факторов пожара. К методам относят способы достижения цели или решения задачи. К организационным средствам и методам управления относятся:

- разработка и внедрение правил и процедур по обеспечению безопасности на предприятии;
- обучение и инструктаж персонала;
- организация контроля за соблюдением требований пожарной безопасности;
- проведение регулярных проверок и аудитов безопасности;
- разработка планов действий в ЧС;
- обеспечение доступности СИЗ и их правильного использования;
- оценка пожарных рисков. Она помогает определить степень риска и разработать меры по его снижению или устранению.

В настоящее время существует ряд «методов и технологий анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах и пути снижения пожарных рисков. Анализ пожароопасных ситуаций включает в себя несколько этапов» [25], [27]:

- «оценка рисков: определение вероятности возникновения пожара и его возможных последствий» [25], [27];
- «идентификация опасностей: выявление факторов, которые могут привести к пожару, таких как горючие материалы, источники тепла или искры [25], [27];
- «разработка мер по предотвращению пожара: выбор наиболее эффективных методов и средств для предотвращения пожара, таких как установка систем пожаротушения, обучение персонала мерам пожарной безопасности и т.д.» [25], [27];

- мониторинг и контроль (наблюдение за состоянием пожарной безопасности на объекте, проведение проверок и испытаний оборудования, а также корректировка мер по предотвращению пожара при необходимости);
- оценка эффективности мер по предотвращению пожара: анализ результатов мониторинга и контроля для определения эффективности принятых мер и их соответствия требованиям пожарной безопасности.

На тяжесть последствий возможных пожароопасных ситуаций также влияет грамотное и своевременное действие персонала предприятия. В этой связи необходимо сделать акцент на обучении персонала: проведение тренингов и инструктажей – чтобы работники знали, как действовать в случае пожара и какие меры предосторожности следует принимать.

В организации должна осуществляться работа по оформлению и актуализации планов эвакуации: создание планов эвакуации на случай пожара, которые помогут людям быстро и безопасно покинуть здание. Вышеперечисленные мероприятия выполняет инженер по пожарной безопасности, работа в этом направлении должна осуществляться не только непрерывно, но и с использованием современных методов, технологиях, средств анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах.

Анализ тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах также включает в себя оценку рисков, определение зон поражения, оценку воздействия на окружающую среду и население, а также разработку мер по предотвращению аварий и минимизации их последствий. Для анализа используются различные методы и инструменты, такие как моделирование пожаров и взрывов, анализ деревьев отказов, оценка риска аварий, экспертные системы и базы данных, математическое моделирование.

Что касается способов прогнозирования пожароопасных ситуаций на производстве, существует несколько методов прогнозирования пожаров на производстве.

Статистический метод основан на анализе статистических данных о пожарах на аналогичных объектах и их последствиях. Данный метод прогнозирования возможных пожаров включает анализ данных о предыдущих пожарах, выявление закономерностей и тенденций, а также использование статистических моделей для предсказания вероятности возникновения пожара в будущем [34].

Вероятностный метод используется для оценки вероятности возникновения пожара в зависимости от различных факторов, таких как температура, влажность, наличие горючих материалов и т.д. При использовании данного метода необходимо учитывать специфику каждого производства [3].

Экспертный метод предполагает оценку рисков пожара специалистами в данной области на основе их опыта и знаний.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного метода зависит от конкретного производства, ситуации и целей прогнозирования.

Рассмотрим методы и средства прогнозирования тяжести последствий пожаров и возгораний. Они включают в себя ряд методов и инструментов, позволяющих оценить риски и последствия возможных аварий. Рассмотрим некоторые из них.

Моделирование пожаров и взрывов осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения для моделирования пожаров и взрывов на производстве, что позволяет определить зоны поражения, температуру и давление в зоне аварии, а также оценить воздействие на окружающую среду и население.

Компьютерное моделирование позволяет создать модель пожара и оценить его последствия, то есть данный метод позволяет создать

виртуальную модель помещения или объекта и провести эксперименты по тушению пожара, определить оптимальные маршруты эвакуации, а также оценить эффективность использования различных типов огнетушащих средств. Существует множество программ для моделирования пожаров, включая FDS (Fire Dynamics Simulator), FLACS (Fire Growth and Smoke Transport Model), CFD-FDS (Computational Fluid Dynamics - Fire Dynamics Simulator) и другие.

Каждая из этих программ имеет свои особенности и предназначена для решения определенных задач, связанных с моделированием пожаров.

Анализ деревьев отказов (FTA) метод, позволяющий изучить возможные последовательности событий, которые могут привести к аварии. FTA помогает определить наиболее вероятные сценарии возникновения аварий и их последствия.

Это инструмент анализа рисков, который используется для определения возможных причин и последствий. Он представляет собой графическое изображение в виде дерева, где вершины дерева представляют события, которые могут произойти, а ветви - возможные причины этих событий.

«В теории построения и анализа деревьев событий конкретное нежелательное событие, классифицируется как верхнее нежелательное событие (ВНС). Далее дерево строят вниз от ВНС, учитывая все события, его вызывающие, и заканчивают выделением базисных событий, причины наступления которых по тем или иным соображениям не исследуются. После построения дерева проводят количественный анализ. Цель анализа – оценить вероятностные характеристики наступления ВНС» [9].

При этом каждому событию приписываются вероятность их появления. Анализ деревьев отказов помогает выявить наиболее вероятные причины возникновения аварии и оценить их влияние на безопасность системы.

Схематично пример дерева отказов, приведший к пожару, представлен на рисунке 2.

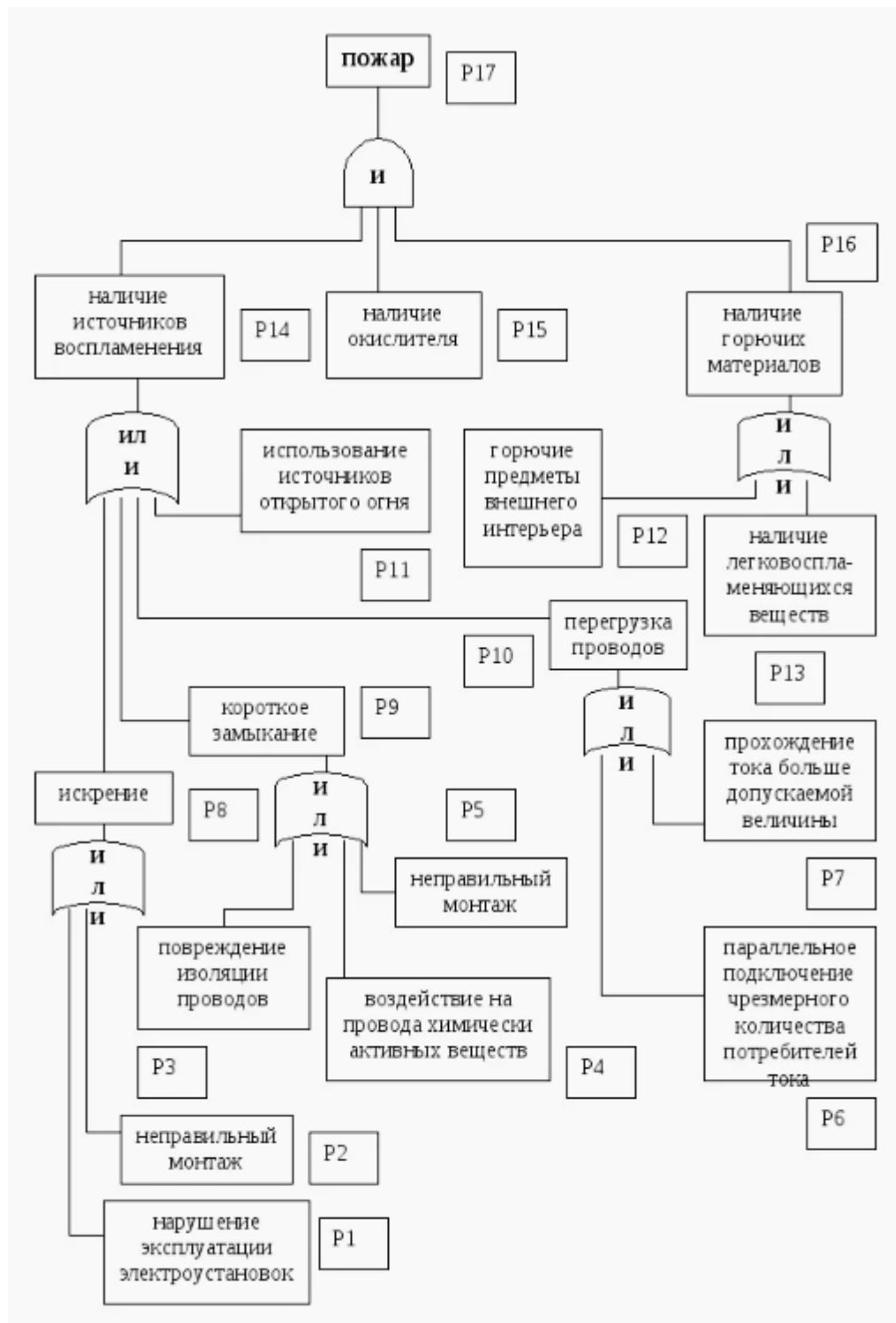


Рисунок 2 – Схематичное изображение примера построения «дерева отказов»

«Оценка риска аварий (РНА) – это процесс анализа и оценки рисков аварий на производстве. РНА включает в себя идентификацию опасностей, оценку вероятности их возникновения и анализ последствий аварий. Этот

метод позволяет определить вероятность возникновения аварий, их последствия, а также меры по снижению рисков» [4].

Оценка риска аварий может быть проведена с использованием различных методов, таких как анализ деревьев отказов, статистические модели, экспертные оценки и другие.

Детерминированный метод прогнозирования пожара – это метод, основанный на использовании статистических данных о пожарах в прошлом и использовании этих данных для прогнозирования вероятности пожара в будущем. Этот метод предполагает, что все факторы, влияющие на возникновение пожара, известны и могут быть учтены при прогнозировании. Однако, этот метод может давать неточные результаты, если не все факторы учтены или если данные о прошлых пожарах недостаточно точны [11].

Экспертные системы и базы данных в прогнозировании пожаров. Использование экспертных систем и баз данных для прогнозирования последствий аварий, основанных на опыте и знаниях экспертов в области пожаров и взрывов.

Математическое моделирование – это использование математических моделей для прогнозирования распространения пламени, давления и температуры в зоне аварии. Математическое моделирование пожара включает в себя создание математических моделей, описывающих процессы развития пожара, распространения огня, дымообразования и других факторов. Эти модели могут быть использованы для прогнозирования поведения пожара в различных условиях, а также для разработки стратегий тушения пожаров и оценки их эффективности. Математические модели можно разделить на три группы:

- «интегральные (модели первого поколения);
- зонные (модели второго поколения);
- полевые (CFD) (модели третьего поколения)» [1].

Интегральные математические модели прогнозирования пожара используются для описания процессов, происходящих во всем помещении

или здании, таких как распространение дыма, температура, концентрация кислорода и других газов. Эти модели позволяют получить информацию о поведении пожара в целом, а не только о локальных процессах.

Зонные математические модели прогнозирования пожара используются для описания процессов в отдельных зонах помещения или здания. Например, можно выделить зону горения, зону теплового воздействия и зону задымления. Эти модели позволяют более точно описать процессы, происходящие в пожаре, но требуют больше времени и усилий для создания и анализа.

В полевых математических моделях прогнозирования пожара используют уравнения гидродинамики и теплопередачи для описания процессов распространения пожара. Они позволяют учитывать различные факторы, такие как скорость ветра, влажность воздуха, материал стен и т.д., и могут быть использованы для прогнозирования развития пожара в реальных условиях.

2.2 Технологические средства и методы управления

База магистерской диссертации ООО «Противопожарные Технологии НиС». Виды деятельности организации – деятельность по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях (ОКВЭД 84.25), производство электромонтажных работ (ОКВЭД 43.21).

Организация оказывает услуги различным организациям в сфере пожарной безопасности. ООО «Противопожарные Технологии НиС» заключены долгосрочные договоры с предприятиями Самарской и Ульяновской областей. В таблице 1 представлен сравнительный анализ технических и эксплуатационных характеристик технологий, методов, средств по применимости и использованию.

Таблица 1 – Сравнительный анализ технических и эксплуатационных характеристик технологий, методов, средств

| Технология, метод, средство | Достоинства | Недостатки | Вывод о применимости и использованию на производстве |
|-------------------------------|--|---|--|
| Статистический метод | прогнозирование возможных пожаров на основе анализа данных о предыдущих пожарах. Выявление закономерностей и тенденций, формирование статистических моделей для прогнозирования пожара. Доступность к использованию. | абсолютно идентичных производств не существуют. В связи с этим метод может иметь погрешность при прогнозировании. Необходимость учитывать специфику каждого конкретного производства | метод полезен для прогнозирования возможных пожаров на производстве. Доступен к использованию. |
| Вероятностный метод, средство | осуществляется с учетом специфики конкретного производства, в зависимости от различных факторов, таких как температура, влажность, наличие горючих материалов и т.д. | необходимо учитывать специфику каждого производства | полезен для прогнозирования пожароопасных применимости и использованию на производстве ситуаций на производстве, однако его следует использовать вместе со статистическим методом и другими методами анализа данных о пожарах. |
| Экспертный метод | оценка рисков пожара производится специалистами в данной области | субъективность оценок экспертов и возможность ошибок при оценке вероятности возникновения пожара. Экспертный метод может быть дорогостоящим и требовать много времени на сбор и обработку данных. | рекомендуется использовать при наличии достаточного бюджета организации и времени на получение сбора информации. |

Продолжение таблицы 1

| Технология, | Достоинства | Недостатки | Вывод о |
|--|--|---|---|
| Метод дерева отказов | метод позволяет изучить возможные последовательности событий, которые могут привести к аварии. Помогает определить наиболее вероятные сценарии возникновения аварий и их последствия. | сложный для понимания и анализа, особенно для тех, кто не знаком с этим методом. Может требовать большого количества времени и ресурсов для создания и анализа. Не всегда может учитывать все возможные сценарии развития аварии, что может привести к недооценке рисков. | следует использовать вместе с другими методами. Требуется наличие специальных знаний. |
| Компьютерное моделирование | возможность создания виртуальной модели помещения или объекта, проведения экспериментов по тушению пожара, определения оптимальных маршрутов эвакуации и оценки эффективности использования различных типов огнетушащих средств. | высокая стоимость программного обеспечения и необходимость наличия высококвалифицированных специалистов для работы с ним. | рекомендуется использовать при наличии достаточного бюджета организации и использованию на производстве высококвалифицированных специалистов. |
| Детерминированный метод прогнозирования | точность и возможность учета всех необходимых факторов при прогнозировании. | сложен в использовании, так как требует большого количества данных и знаний о процессе прогнозирования | рекомендуется использовать при наличии высококвалифицированных специалистов в данной области. |
| Интегральный метод математического моделирования | метод позволяет получить информацию о поведении пожара в целом, а не только о локальных процессах, что может быть полезно при разработке стратегий тушения пожаров. | сложен в использовании и требует определенных знаний и навыков для его применения. Метод может требовать больше времени и ресурсов для создания и | рекомендуется использовать при наличии высококвалифицированных специалистов в данной области. |

Продолжение таблицы 1

| Технология, метод, средство | Достоинства | Недостатки | Вывод о применимости и |
|---|--|---|--|
| | | анализа модели, чем другие методы. | |
| Зонный метод математического моделирования | описывает процессы в отдельных зонах помещения или здания, что может быть полезным при детальном анализе пожара. Зонный метод также может быть более точным, чем интегральный, в описании процессов, происходящих в пожаре. | сложность использования и необходимость знаний и навыков в этой области. Зонный метод может также требовать больше времени и ресурсов для создания и анализа моделей, чем другие методы. | рекомендуется использовать при наличии высококвалифицированных специалистов в данной области. Подходит к специфике организаций, эксплуатирующих и ремонтирующих электрооборудование. |
| Полевой метод математического моделирования | учитывает различные факторы, такие как скорость ветра, влажность воздуха, материал стен и т.д., что может обеспечить более точное прогнозирование развития пожара в реальных условиях. Полевой метод также может быть более гибким и адаптируемым к различным условиям, чем другие методы математического моделирования. | высокая сложность и трудоемкость создания и решения уравнений гидродинамики и теплопередачи, а также необходимость наличия специалистов с соответствующими знаниями и навыками. Полевой метод может также требовать значительных вычислительных ресурсов для проведения расчетов. | рекомендуется использовать при наличии высококвалифицированных специалистов в данной области |

Анализируя технические и эксплуатационные характеристики технологий, методов, средств по применимости и использованию на производствах, эксплуатирующих и ремонтирующих электрооборудование, делаем вывод, что для осуществления прогнозов тяжести последствий

пожаров, для метода компьютерного моделирования требуется специализированное программное обеспечение, такого как, например:

- FDS (Fire Dynamics Simulator);
- FLACS (Fire Growth and Smoke Transport Model);
- CFD-FDS (Computational Fluid Dynamics - Fire Dynamics Simulator) и другие.

Каждая из этих программ имеет свои особенности и предназначена для решения определенных задач, связанных с моделированием пожаров.

Методы математического моделирования: интегральные, зонные, полевые требуют специфических знаний. Данные методы могут включать высокую сложность и трудоемкость создания и решения уравнений гидродинамики и теплопередачи, а также необходимость наличия специалистов с соответствующими знаниями и навыками. Кроме того, математические методы могут также требовать значительных вычислительных ресурсов для проведения расчетов.

В настоящее время существует современное программное обеспечение для прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий. Зарубежное программное обеспечение, например:

- FireRisk Assessment Software;
- SimFire Simulation Software;
- FDS Fire Dynamics Simulator;
- eQuest Risk Assessment Software;
- VESTA Fire and Explosion Risk Assessment Tool;
- PyroSim Fire Modeling Software;
- PromRisk Professional Risk Assessment Software.

Отечественное программное обеспечение:

- СИТИС: Флоутек (имитационно-стохастическая модель движения людей);
- СИТИС: Блок 4.12 (расчет динамики развития ОФП);

- СИТИС: PyroSim (полевая модель факторов пожара);
- Спринт (позволяет сравнивать и анализировать результаты расчета);
- Пожплан (имитационно-стохастическая модель движения людей);
- Firesim-Pro (вспомогательное ПО для расчета пожарного риска);
- Fenix+Risk (расчет пожарного риска);
- Терма (полевая модель ОФП).

Поскольку многие лицензии зарубежного ПО отозваны, рассмотрим отечественное ПО. Перечислим возможности современного ПО:

- расчет времени эвакуации: определение времени эвакуации с учетом различных условий и изменений в методике;
- учет пожарной безопасности: оценка уровня пожарной безопасности согласно актуальным стандартам;
- моделировать распространение пожара в зданиях и сооружениях;
- определять степень повреждения имущества от пожара;
- прогнозировать распространение ОФП;
- оценивать эффективность систем противопожарной защиты (пожаротушение, дымоудаление, сигнализация);
- «расчет пожарного риска»;
- построение полевой модели ОФП;
- рассчитывать экономические потери от пожара.
- графический редактор: ввод исходных данных на основе сканированных планов зданий;
- параметризация: возможность задавать свойства, такие как количество людей, плотность, время начала эвакуации, в виде математических выражений;
- множественные сценарии эвакуации: создание различных вариантов эвакуации для учета возможных ситуаций;

- 2D/3D анимация: визуализация движения людских потоков и эвакуационных путей» [25], [27];
- детальный отчет: формирование комплексных отчетов с таблицами и картами участков расчета.
- экспорт данных: возможность сохранения отчетов в форматах RTF, CSV, и JSON;
- интеграция в программные комплексы: возможность запуска из командной строки для интеграции в более широкие системы.

Таким образом, использование программного обеспечения с целью прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных ситуаций и впоследствии снижения пожарного риска на объекты, значительно ускоряет и облегчает процесс. Однако, получение лицензии на использование ПО бесплатно, но на предприятиях необходимо использовать лицензионное программное обеспечение. Нелицензионное программное обеспечение может нарушать авторские права и привести к юридическим последствиям.

Детерминированный метод прогнозирования также имеет высокую сложность в использовании, так как требует большого количества данных и знаний о процессе прогнозирования и наличия специалистов с соответствующими знаниями и навыками

Экспертный метод дорогостоящий, его рекомендуется использовать при наличии достаточного бюджета организации и времени на получение сбора информации.

Статистический, вероятностный методы могут быть полезны для прогнозирования возможных пожаров на производстве, но их следует использовать в сочетании с другими методами, таким, например, как – анализ деревьев отказов. Кроме того, необходимо учитывать специфику каждого конкретного производства и принимать во внимание все возможные факторы, которые могут повлиять на возникновение пожара.

По итогам сравнительного анализа выявлено, что статистический, вероятностный методы могут быть полезны для прогнозирования возможных

пожаров на производстве, но их следует использовать в сочетании с другими методами, таким, например, как – анализ деревьев отказов. Рассмотрим каждый из них более подробно.

Статистический метод прогнозирования пожаров основан на анализе данных о предыдущих событиях и выявлении закономерностей, которые могут быть использованы для предсказания будущих событий. Этот метод может использоваться для прогнозирования различных явлений, включая пожары, аварии, экономические показатели и многое другое.

Статистику по пожарам формирует Государственная противопожарная служба. Из отчета за 2023 год, выявлено, что в среднем в нашей стране «ежедневно происходило 1108 пожаров, на которых погибало 22 человека, получали травмы 23 человека, огнем уничтожалось 162 строения» [24].

В таблице 2 представлена статистика об обстановке с пожарами и их последствиями по субъектам РФ. В таблице представлена Самарская область, а также субъекты с наибольшим и наименьшим количеством пожаров.

Таблица 2 – Сведения о пожарах и их последствия по субъектам РФ

| Субъект РФ | 2022 | | 2023 | |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | Кол-во пожаров, ед | Погибших людей, чел | Кол-во пожаров, ед | Погибших людей, чел |
| Ненецкий автономный округ | 13 | 0 | 4 | 0 |
| Московская область | 589 | 7 | 367 | 17 |
| г. Москва | 1107 | 7 | 915 | 13 |
| Самарская область | 340 | 3 | 260 | 2 |
| Республика Калмыкия | 8 | 2 | 6 | 0 |
| Карачаево-Черкесская Республика | 14 | 0 | 7 | 0 |
| Республика Ингушетия | 19 | 0 | 3 | 0 |
| Приморский край | 430 | 1 | 390 | 3 |

Статистика показывает, что Самарская область занимает высокие строчки среди субъектов Российской Федерации несмотря на то, что в 2023 году количество пожаров снизилось более чем на 20%. В таблице 3 представлена статистика по видам объектов, на которых происходили пожары.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика статистики пожаров по видам объектов

| Поднадзорные объекты | 2022 | 2023 | Прирост, % | 2022 | 2023 | Прирос т, % |
|--|--------------------|-------|---------------|------------------------|------|----------------|
| | Кол-во пожаров, ед | | | Погибших людей, чел | | |
| здания производственного назначения | 1 350 | 1 097 | -18,7 | 21 | 16 | -23,8 |
| складские здания, сооружения | 404 | 436 | 7,9 | 6 | 12 | 100,0 |
| сельскохозяйственные здания | 243 | 124 | -49,0 | 0 | 2 | + |
| здания, сооружения и помещения предприятий торговли | 1 184 | 913 | -22,9 | 4 | 10 | 150,0 |
| здания, помещения учебно-воспитательного назначения | 162 | 137 | -15,4 | 0 | 0 | 0,0 |
| здания, помещения здравоохранения и социального обслуживания населения | 141 | 116 | -17,7 | 6 | 1 | -83,3 |
| здания, помещения сервисного обслуживания населения | 622 | 481 | -22,7 | 2 | 3 | 50,0 |
| административные здания | 446 | 400 | -10,3 | 12 | 4 | 66,7 |
| здания, сооружения и помещения для культурно-досуговой деятельности населения и религ. обрядов | 128 | 128 | 0,0 | 0 | 0 | 0,0 |
| здания и помещения для временного пребывания людей | 170 | 185 | 8,8 | 3 | 9 | 200,0 |
| другие объекты пожара | 673 | 429 | -36,3 | 11 | 7 | -36,4 |
| жилой сектор | 4 702 | 4 691 | -0,2 | 23 | 38 | 65,2 |
| Россия | 10 225 | 9 137 | -10,6 | 88 | 102 | 15,9 |

На тяжесть последствий, статистический метод могут указать причины гибели людей при пожаре, так, «наибольшее количество человек погибло вследствие отравления токсичными продуктами горения – 1 443 человека (АППГ – 1 668, -13,5%), от отравления токсичными газами и ядовитыми веществами – 773 человека (АППГ – 378, 104,5%)», от неустановленных причин – 642 человека (АППГ – 754, -14,9%) [24].

Из таблицы видно, что наибольшее количество пожаров происходило в жилом секторе, далее идут производственные здания, в том числе, эксплуатирующие электрооборудование (рисунок 3).

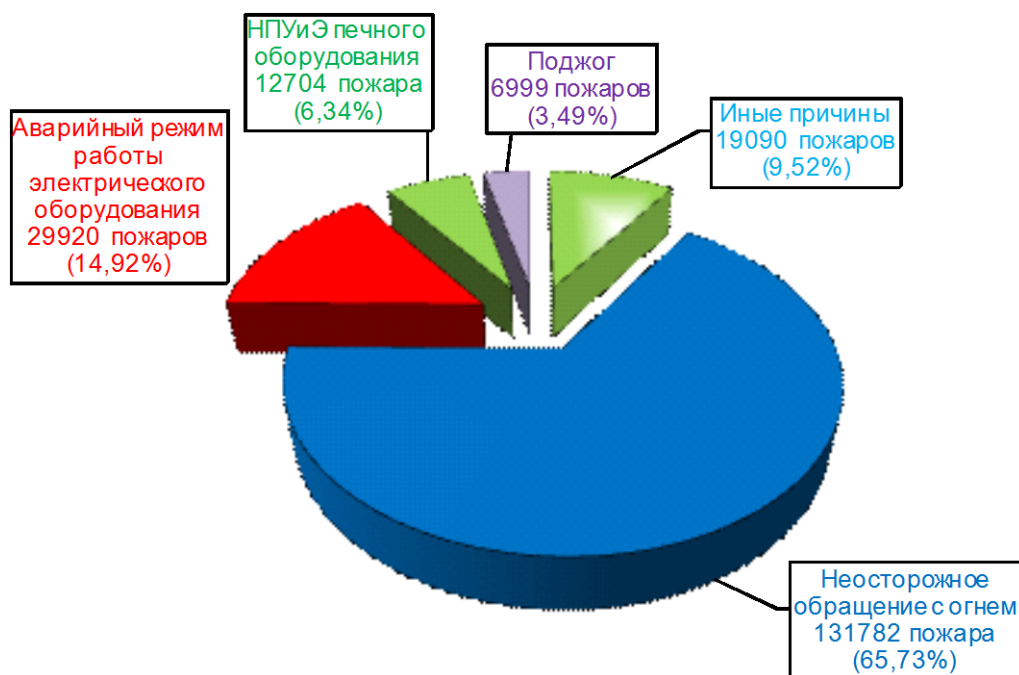


Рисунок 3 – Распределение пожаров по причинам его возникновения

Таким образом, статистический метод показывает, что в Самарской области происходит большое количество пожаров, не смотря на снижение их количества. Производственные здания являются объектами, на которых происходят возгорания и пожара и находятся на втором месте после зданий жилого сектора.

Причины возникновения пожаров различны, однако, согласно статистике, второе место занимает «аварийный режим работы электрического оборудования».

Статистический метод показывает на какие «слабые места» следует обратить внимание при анализе и прогнозировании рисков возникновения и тяжести последствий пожаров в производстве.

Вероятностный метод прогнозирования используется для оценки вероятности возникновения пожара или аварии, а также для определения возможных последствий. Этот метод основан на использовании математических моделей и статистических данных, которые позволяют

предсказать вероятность возникновения пожара или аварии в зависимости от различных факторов.

Вероятностный метод прогнозирования включает в себя следующие этапы:

- сбор данных о предыдущих пожарах или авариях. На этом этапе необходимо применение статистического метода. Статистику необходимо собирать не только по Российской Федерации в целом, статистику производств соответствующей отрасли, но и статистику самого производства, для которого применяется вероятностный метод;
- анализ данных и выявление закономерностей. На этом этапе происходит сбор причин возникновения пожаров и возгораний на производстве с их количественным значением. Это необходимо для выполнения следующего этапа – создания математической модели;
- создание математической модели, которая описывает вероятность возникновения пожара и тяжесть последствий;
- прогнозирование вероятности возникновения пожара или аварии на основе математической модели. По итогам сформированной модели делается вывод;
- оценка возможных последствий пожара или аварии и разработка мер по предотвращению или минимизации ущерба.

В качестве математической модели для анализа причинно-следственных связей тяжести последствий пожара и определения наиболее значимых факторов, влияющих на результат, можно применять диаграмму Парето.

Диаграмма Парето – это график, который показывает распределение частот различных категорий в выборке. Она используется для определения наиболее важных причин проблемы или для определения наиболее частых причин события. Диаграмма Парето была предложена итальянским

экономистом Вильфредо Парето в начале XX века. Он предложил использовать этот принцип для анализа различных проблем [1].

Например, если мы хотим узнать, какие причины наиболее часто вызывают пожар, мы можем построить диаграмму Парето на основе данных о причинах пожаров и посмотреть, какие категории причин встречаются чаще всего.

Приведем пример построения диаграммы. Заполним таблицу 4. Укажем причины возникновения пожаров в организации и их количество – данные сформируем с использованием статистического метода.

Таблица 4 – Причины возникновения пожаров

| Наименование причины | Количество случаев | Процент числа случаев | Накопленный процент % |
|---|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| неудовлетворительное состояние электрооборудования | 30 | 24,39% | 24,39% |
| нарушения режимов технологических процессов | 25 | 20,33% | 44,72% |
| невыполнение требований пожарной безопасности | 20 | 16,26% | 60,98% |
| наличие горючих материалов и веществ на территории предприятия | 15 | 12,20% | 73,17% |
| курение в неположенных местах, использование открытого огня и т.д. | 10 | 8,13% | 81,30% |
| неосторожное обращение с огнем | 8 | 6,50% | 87,80% |
| неисправность отопительных приборов и нарушение правил их эксплуатации | 6 | 4,88% | 92,68% |
| возгорание в результате природных явлений, таких как молнии, ураганы, наводнения и т.д. | 5 | 4,07% | 96,75% |
| прочие | 4 | 100% | 100% |

«Диаграмма учитывает данные из столбцов «Количество случаев» и «Процент случаев с нарастающим итогом». По данным колонки 3 складывается столбиковая диаграмма, а по столбцу 5 – кривая Лоренца. Эта кривая демонстрирует, на решении каких проблем нужно сконцентрироваться прежде всего» [25].

На основании полученных данных построим диаграмму Парето. Существует 2 вида диаграммы:

- «по результатам деятельности. Используется для обнаружения важнейших проблем – 20% проблем, ответственных за 80% плохого результата. Она подойдет для оценки качества, сроков выполнения, безопасности.
- по причинам - помогает узнать причины проблем, встречающихся в процессе работы – 20% причин, повинных в 80% проблем. Это могут быть сотрудники, оборудование, рабочие процессы» [27].

Пример диаграммы Парето по причинно-следственным связям пожаров и возгораний представлен на рисунке 4.

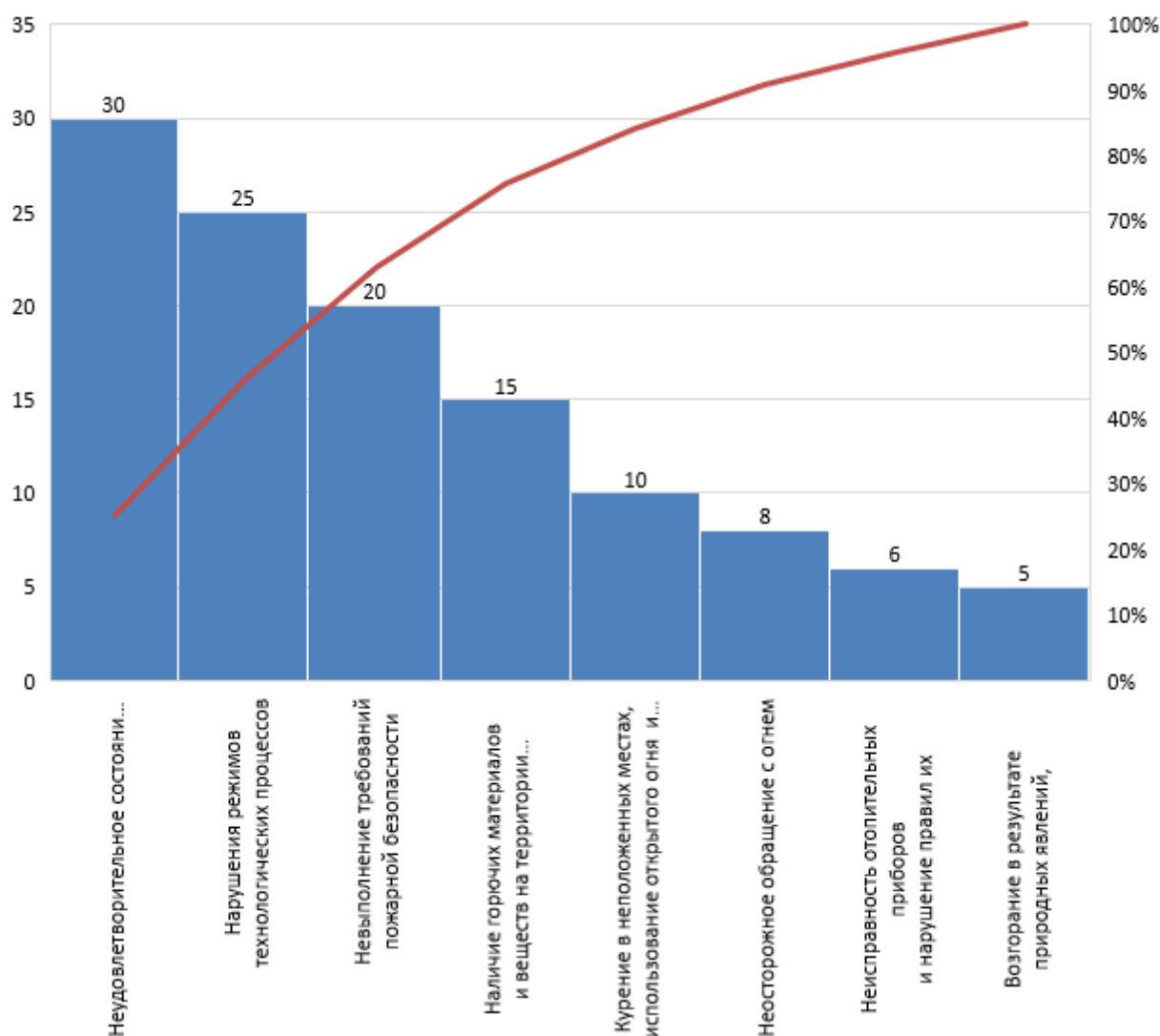


Рисунок 4 – Пример диаграммы Парето по причинно-следственным связям пожаров и возгораний

Диаграмма представляет собой упорядоченную нисходящую гистограмму. Диаграмма в наглядной форме демонстрирует, какие причины чаще всего являются причинами возникновения пожара, а какие наиболее редки.

На рисунке наглядно проиллюстрировано, что наиболее частыми причинами пожаров является невыполнение требований пожарной безопасности и наличие горючих материалов на производстве.

Диаграмма Парето способствует «оптимизации процессов и предотвращению непредвиденных ситуаций. Помогает снизить затраты на обработку информации и повысить эффективность операций» [27].

В качестве методики математического моделирования можно также применять процедуру прогнозирования с целью выявления текущей тенденции, и определение предполагаемого результата в отношении изучаемого объекта на определенный момент времени в будущем, то есть к каким последствиям приведет то или иное действие.

Рассмотрим метод анализа дерева отказов. Дерево отказов – это инструмент анализа рисков, который позволяет определить возможные причины возникновения пожара и возгораний и оценить их вероятность. Дерево отказов строится в виде схемы, где вершины соответствуют событиям (например, возникновению пожара), а ребра – причинам этих событий (например, неисправности системы пожаротушения).

Дерево отказов может быть использовано для анализа различных рисков, включая риски пожаров, аварий на производстве, экологических катастроф и т.д. Оно позволяет определить наиболее вероятные сценарии развития событий, тяжесть последствий и принять меры по снижению рисков.

Для использования дерева отказов при анализе тяжести последствий пожаров необходимо выполнить следующие шаги:

- определить цель анализа – в данном случае это оценка тяжести последствий пожара;

- собрать данные о предыдущих пожарах и их последствиях. Выполняется с помощью статистического метода;
- построить дерево отказов, где вершинами будут являться события, связанные с возникновением и развитием пожара, а ребрами – причины этих событий;
- проанализировать дерево отказов и определить наиболее вероятные сценарии развития пожара;
- оценить тяжесть последствий каждого сценария и принять меры по предотвращению или минимизации ущерба.

Выводы по разделу: таким образом, для прогнозирования последствий пожара будем использовать такие методы, как: статистические, вероятностные, метод дерева отказов и математические модели. Статистический метод основан на анализе данных о прошлых пожарах и выявлении закономерностей, которые можно использовать для предсказания будущих событий. Вероятностный метод используется для оценки вероятности возникновения пожара и определения возможных последствий, а математическое моделирование позволяет предсказать тяжесть последствий на основе различных факторов, таких как размер помещения, скорость распространения огня и т.д.

Использование программного обеспечения с целью прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных ситуаций и впоследствии снижения пожарного риска на объекты, значительно ускоряет и облегчает процесс. Однако, получение лицензии на использование ПО небесплатно, но на предприятиях необходимо использовать лицензионное программное обеспечение. Нелицензионное программное обеспечение может нарушать авторские права и привести к юридическим последствиям.

3 Опытнo-экспериментальная апробация предлагаемых путей снижения пожарных рисков

3.1 Внедрение предлагаемых решений по снижению пожарных рисков

Блок-схема является графическим представлением процесса или системы. Она состоит из блоков, которые изображают различные этапы процесса, и стрелок, которые соединяют блоки и показывают последовательность выполнения этапов. Блок-схемы используются для описания алгоритмов, процессов принятия решений, структур данных и других объектов в различных областях знаний.

Разработаем блок-схему поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий (рисунок 5).

«Блок-схема поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий включает в себя следующие этапы» [27]:

- «определение исходных данных, необходимых для проведения прогноза, таких как тип и количество пожаро- и взрывоопасных веществ и материалов, их физико-химические свойства, температура и давление в зоне аварии, информация о конструкции и оборудовании, а также погодные условия;
- оценка степени опасности аварии, определение возможных сценариев развития аварии и оценка вероятности каждого сценария;
- моделирование распространения пожаров и взрывов с использованием специализированного программного обеспечения, учитывающего все факторы, влияющие на развитие аварии;
- расчет тяжести последствий аварии, включая оценку ущерба для жизни и здоровья людей, экономического и экологического ущерба» [25], [27];

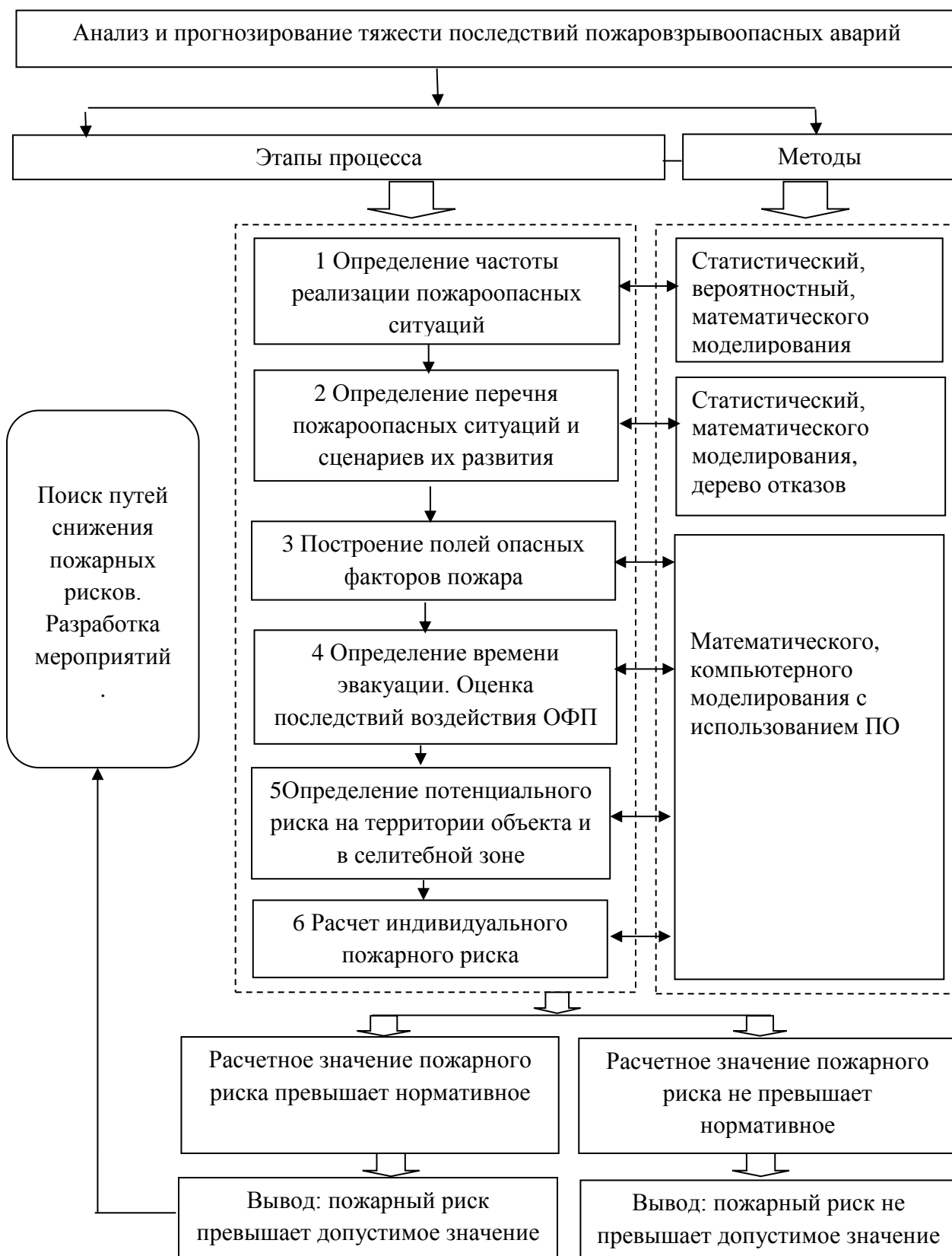


Рисунок 5 – Блок-схема поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий

- «разработка рекомендаций по снижению риска аварий и минимизации их последствий;
- контроль за выполнением рекомендаций и проведение периодического мониторинга и оценки эффективности принятых мер» [7].

«Представленная блок-схема может быть оптимизирована и применена на предприятиях различной отрасли промышленности. Технология проведения прогнозирования тяжести последствий пожаров – это процесс оценки возможных последствий пожара на основе анализа различных факторов, таких как тип и количество горючих материалов, размеры и планировка здания, метеорологические условия и другие факторы. Для проведения прогнозирования используются специализированные программы и методы, позволяющие рассчитать степень риска и определить возможные последствия пожара» [7].

На основе блок-схемы разработаем технологию прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий.

1. Определение частоты инцидентов.

1.1. Характеристика объекта защиты.

Указываются наименование, адреса зданий и сооружений объекта.

Приводится описание данных о природно-климатических условиях, характеристика территории.

1.2 Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов.

«Приводят характеристику применяемых горючих веществ и материалов, технологического оборудования, применяемых систем безопасности, данные о времени пребывания людей на территории и вблизи объекта защиты, возможные иницирующие пожароопасные ситуации событий, осуществляют построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей, приводят статистические данные» [7].

2. Определение перечня пожароопасных ситуаций и сценариев их развития.

«На основе статистических данных моделируют сценарии развития возможных негативных событий с помощью метода «дерево отказов» [7].

3. Построение полей опасных факторов пожара.

На основе сценариев рассчитаем параметры приведенных сценариев развития пожаровзрывоопасных ситуаций: условная вероятность возникновения, частота возникновения, площадь пожара, эффективный диаметр площади пожара, интенсивность теплового излучения от пожара в каждой точке территории объекта. На этом этапе рекомендуем использовать ПО для визуализации сценария.

4. Определение времени эвакуации. Оценка последствий воздействия ОФП.

На данном этапе производится расчет времени эвакуации с помощью расчетных методик.

5. Определение потенциального риска на территории объекта и в селитебной зоне.

На данном этапе производится расчет потенциального риска от оборудования объекта на территории объекта и в селитебной зоне. На этом этапе рекомендуем использовать программное обеспечение для визуализации сценария.

6. Расчет индивидуального пожарного риска.

«Расчет индивидуального пожарного риска выполняется для группы людей с учетом вероятности их нахождения в каждой области территории или здании» [7]. Расчет выполняется на основе действующих расчетных методик.

7. Вывод.

На данном этапе, на основе прогностических мероприятий делается вывод. В случае, если пожарный риск превышает допустимое значение,

разрабатываются мероприятия по его снижению, после чего анализ и расчет производится с самого начала.

Пути снижения пожарного риска разрабатываются в зависимости от выявленных проблем. Мероприятия включают в себя, как правило:

- улучшение систем пожарной безопасности (разработка и внедрение новых технологий, улучшение существующих систем, обучение персонала);
- повышение осведомленности сотрудников и населения о пожарной безопасности (проведение обучающих программ, распространение информации о правилах поведения в случае пожара);
- усиление контроля за соблюдением правил ПБ (регулярные проверки, штрафы за нарушение правил);
- разработка и актуализация планов эвакуации, и обучение персонала их использованию;
- улучшение доступа к средствам пожаротушения и экстренной связи;
- проведение учений и тренировок по эвакуации в случае пожара.

База магистерской диссертации ООО «ПротивоПожарныеТехнологии НиС», виды деятельности которой связаны с оказанием услуг в сфере пожарной безопасности. ООО «ПротивоПожарныеТехнологии НиС» заключил долгосрочные договоры с предприятиями Самарской и Ульяновской областей.

Применим представленную блок-схему и разработанную технологию к одной из организаций, с которой у ООО «ПротивоПожарныеТехнологии НиС» заключен договор. Для сохранения конфиденциальности наименование предприятия указывать не будем, обозначим, что предприятие относится к нефтегазовой отрасли, в распоряжении которого находится резервуарный парк.

1. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.
 - 1.1. Характеристика объекта защиты.

Наименование объекта защиты: резервуарный парк.

«Согласно статье 6 федерального закона № 123-ФЗ, одно из условий обеспечения пожарной безопасности объекта защиты – если в полном объеме выполнены требования ПБ, установленные техническими регламентами, и пожарный риск не превышает допустимых значений» [33].

1.2 Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов.

«В качестве наружной установки рассматривается резервуарный парк бензина, размещаемый на территории производственного объекта в Самарской области. В состав резервуарного парка бензина входят 2 резервуара (резервуары №1 и №2) объемом по 10000 м³ каждый (диаметр резервуара 34,2 м, высота – 11,92 м) и 2 трубопровода бензина диаметром 900 мм, суммарная длина трубопроводов парка составляет 200 м. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические с купольной крышей без понтона. Парк имеет ограждающую стену, рассчитанную на гидростатическое давление разлившейся жидкости. Площадь внутри обвалования (ограждения) парка составляет 7000 м². Резервуарный парк предназначен для хранения бензина (бензин марки АИ-93). Максимальная температура воздуха в климатической зоне: 37°С. Максимальная скорость ветра: 25 м/с. Вероятность штиля: 12 %» [25], [27].

Характеристики территории объекта представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики территории объекта

| Параметр | Значение |
|--|--|
| Класс загроможденности пространства | III - средне загроможденное пространство |
| Тип поверхности | спланированное грунтовое покрытие |
| Площадь | 17050 м ² |
| Селитебная зона вблизи объекта: дачные участки | |
| Параметр | Значение |
| Площадь | 34616,6 м ² |

Характеристика применяемых горючего вещества, располагающегося в резервуарном парке – бензин АИ-93 представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики применяемых горючих веществ и материалов

| Параметр | Значение |
|--|--------------------------------|
| Описание | C ₆ H ₁₂ |
| Молярная масса | 95,3 кг/кмоль |
| Плотность жидкости | 745 кг/м ³ |
| Температура вспышки | -37 °С |
| Температура кипения | 90 °С |
| Нижний концентрационный предел распространения пламени | 1,1 % об. |
| Массовая скорость выгорания | 0,059 кг/(с·м ²) |

Характеристики технологического оборудования представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики технологического оборудования

| Резервуар №1, №2 | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Параметр | Значение |
| Горючая нагрузка | Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67) |
| Типовые аварийные события | да |
| Объем | 10000 м ³ |
| Высота столба жидкости | 10,9 м |
| Температура жидкости | 37 °С |
| Диаметр | 34,2 м |
| Высота | 11,92 м |
| Трубопровод 01, ,2 | |
| Параметр | Значение |
| Горючая нагрузка | Бензин АИ-93 (зимний) |

Продолжение таблицы 7

| Параметр | Значение |
|----------------------------|-----------|
| Типовые аварийные события | да |
| Внутренний диаметр | 900 мм |
| Длина | 99,8 м |
| Способ подачи жидкости | самотеком |
| Расчетное время отключения | 300 с |

В характеристике применяемых систем безопасности приводятся данные: о наличии и местах размещения запорной арматуры; о чувствительности и времени срабатывания систем контроля утечек, газоанализаторов; о наличии систем контроля и управления системами безопасности, их алгоритмах работы при развитии аварии и иное (при необходимости). Общий вид объекта представлен на рисунке 6.

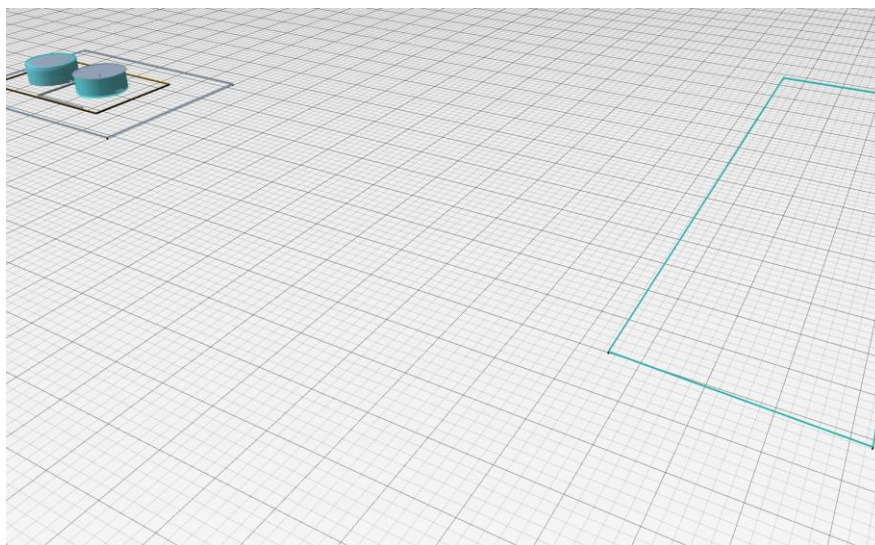


Рисунок 6 – Общий вид объекта

2. Определение перечня пожароопасных ситуаций и сценариев их развития.

«Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций на рассматриваемом объекте был использован метод деревьев отказов. Построение событий осуществлялось исходя из следующих предпосылок. В качестве инициирующих пожароопасные ситуации и пожары на объекте рассматриваются следующие события:

- разгерметизация резервуаров с образованием пролива в обваловании;
- полное разрушение резервуаров с образованием пролива в обваловании и переливом части жидкости за пределы обвалования;

- разгерметизация или полное разрушение трубопроводов топлива в пределах обвалования с образованием пролива в обваловании;
- разгерметизация или полное разрушение трубопроводов топлива за пределами обвалования с образованием пролива на свободной поверхности;
- разгерметизация гибких соединений при проведении сливно-наливных операций на сливной площадке для автоцистерны с образованием пролива на свободной поверхности.
- разрыв линии подачи топлива из резервуара в автомобиле» [8].

«Условные вероятности и последовательность событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, приняты согласно приложению 3 пособия» [4].

«Частота реализации возможных пожаровзрывоопасных ситуаций, частота утечек принимались в соответствии с действующими расчетными методиками» [4].

Рассмотрим сценарии развития пожаровзрывоопасных ситуаций в резервуарном парке – «Разрушение» в резервуаре №1 и трубопроводе №1.

На рисунках 7, 8 представлены сценарии на основе метода «дерево отказов».

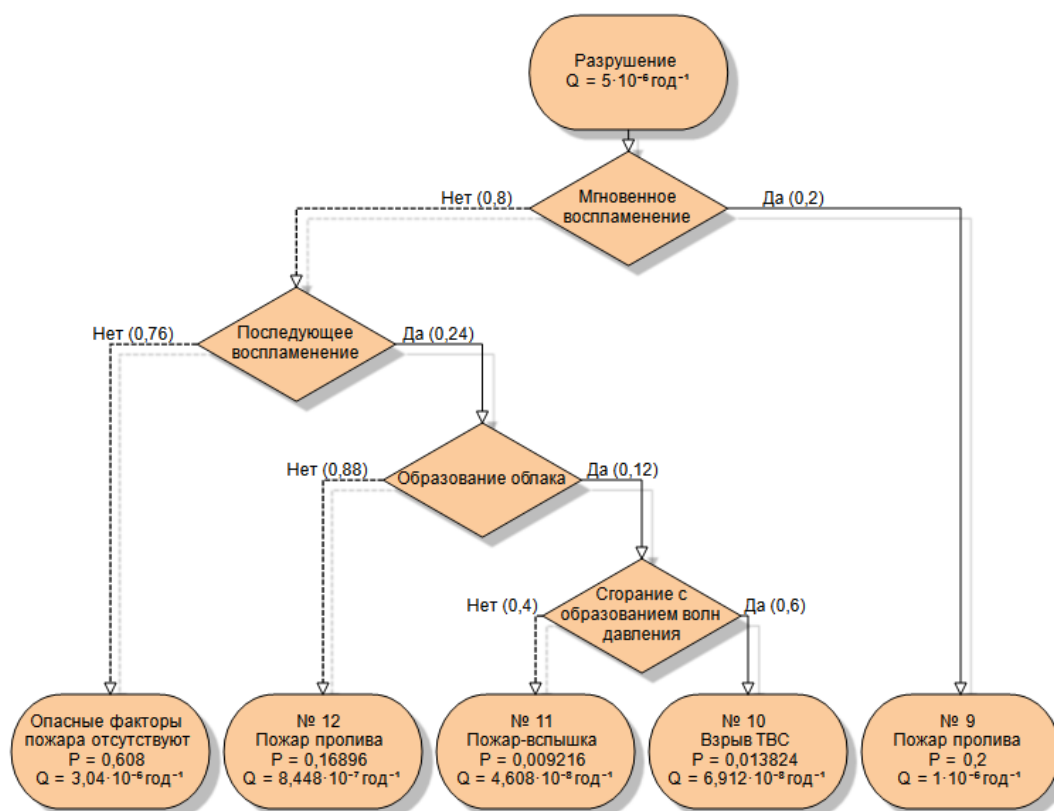


Рисунок 7 – Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разрушение» в резервуаре №1

Перечень пожаровзрывоопасных инцидентов и сценариев их развития представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

| Сценарий развития пожароопасной ситуации | Частота возникновения, год ⁻¹ |
|--|--|
| Пожар пролива | $1,8 \cdot 10^{-6}$ |
| Взрыв ТВС | $1,293 \cdot 10^{-7}$ |
| Пожар-вспышка | $8,617 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар пролива | $1,58 \cdot 10^{-6}$ |
| Пожар на дыхательной арматуре | $9 \cdot 10^{-5}$ |
| Пожар по поверхности | $9 \cdot 10^{-5}$ |

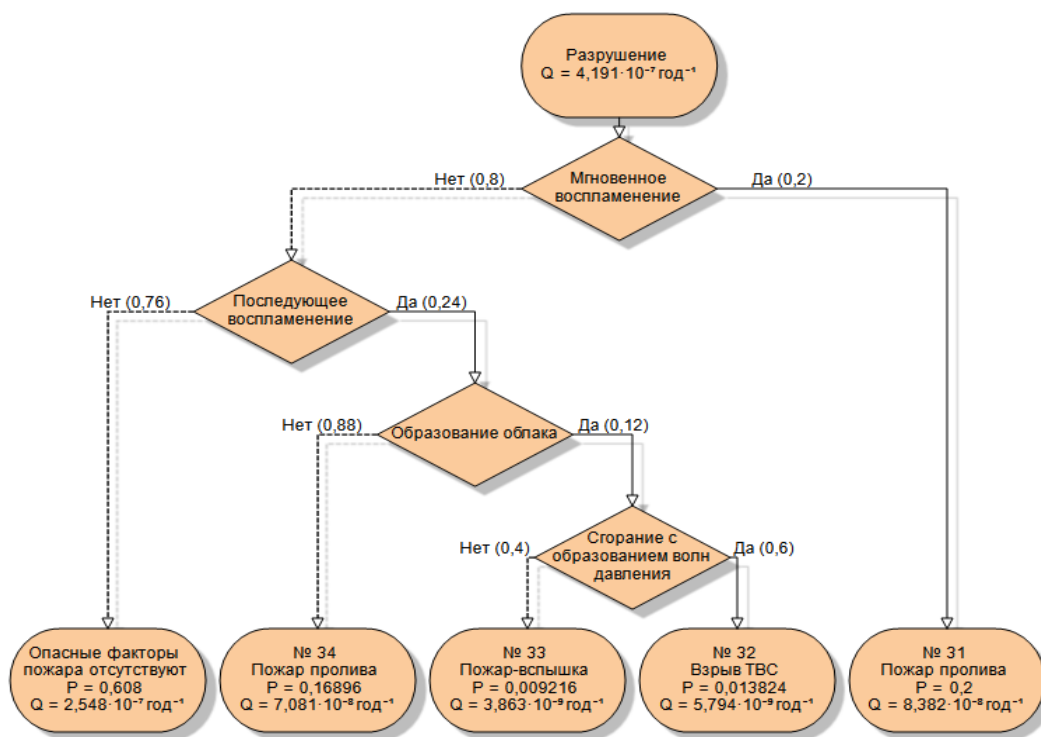


Рисунок 8 – Дерево сценариев при возникновении инициирующего события «Разрушение» на трубопроводе 01

3. Построение полей опасных факторов пожара.

Рассмотрим количественную оценку массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций для резервуара №1 по сценарию «Разрушение».

Частота возникновения: $5 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

«Объем вылившейся жидкости принимается равным объему емкости: $V_{ж} = 10000\text{м}^3$. Имеется обвалование высотой 0,8 м. При высоте столба жидкости 10,9 м и $a/h_0 = 0,07$ доля жидкости, перелившейся через обвалование, составит 0,55. Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости» [4]:

$$F_{\text{перелив.}} = V_{ж} \cdot 0,55 \cdot f_p, \quad (1)$$

где $V_{ж}$ – «объем емкости;

f_p – доля пролившейся жидкости» [4].

$$F_{\text{перелив.}} = V_{\text{ж}} \cdot 0,55 \cdot f_{\text{р}} = 10000 \text{ м}^3 \cdot 0,55 \cdot 20 = 110458,7 \text{ м}^2.$$

«Площадь пролива составляет сумму площади обвалования и площади перелива» [4]:

$$F_{\text{П}} = F_{\text{обв.}} + F_{\text{перелив.}}, \quad (2)$$

где $F_{\text{обв.}}$ – «площадь обвалования» [4].

$$F_{\text{П}} = F_{\text{обв.}} + F_{\text{перелив.}} = 7040 + 110458,7 = 117498,7 \text{ м}^2$$

Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 10000 \cdot 745 = 7450000 \text{ кг.}$$

«Максимальное время испарения до появления источника зажигания: 3600с. Давление насыщенных паров при температуре 37°C составляет» [4]:

$$P_{\text{Н}} = 10^{\left(A - \frac{B}{t + Ca}\right)} \quad (4)$$

$$P_{\text{Н}} = 10^{\left(A - \frac{B}{t + Ca}\right)} = 10^{\left(4,26511 - \frac{695,019}{37 + 223,22}\right)} = 39,284 \text{ кПа.}$$

«Интенсивность испарения с поверхности пролива» [4]:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{Н}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95,3} \cdot 39,284 = 3,835 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

«Масса образовавшихся паров» [4]:

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{П}} \cdot 3600 = 3,835 \cdot 10^{-4} \cdot 117498,7 \cdot 3600 = 162219,1 \text{ кг.}$$

Поле ОФП для данного сценария представлено на рисунке 9.

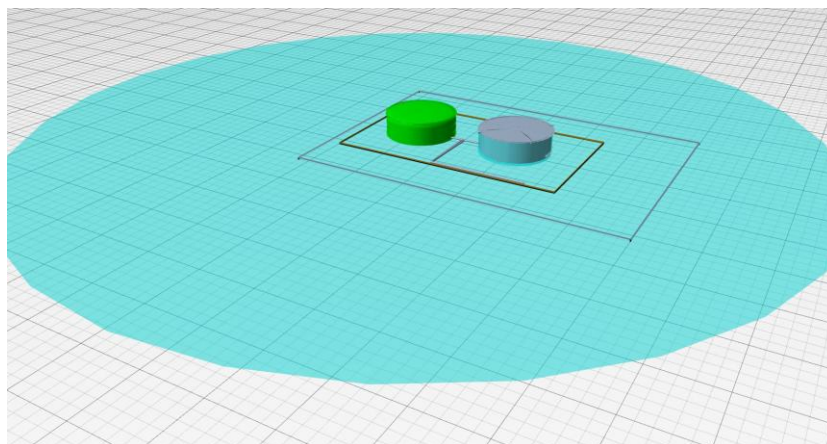


Рисунок 9 – Поле ОФП для сценария развития пожара «Разрушение» для резервуара №1

Площадь пожара принимается равной площади резервуара и составляет 918, м² (рисунок 10).

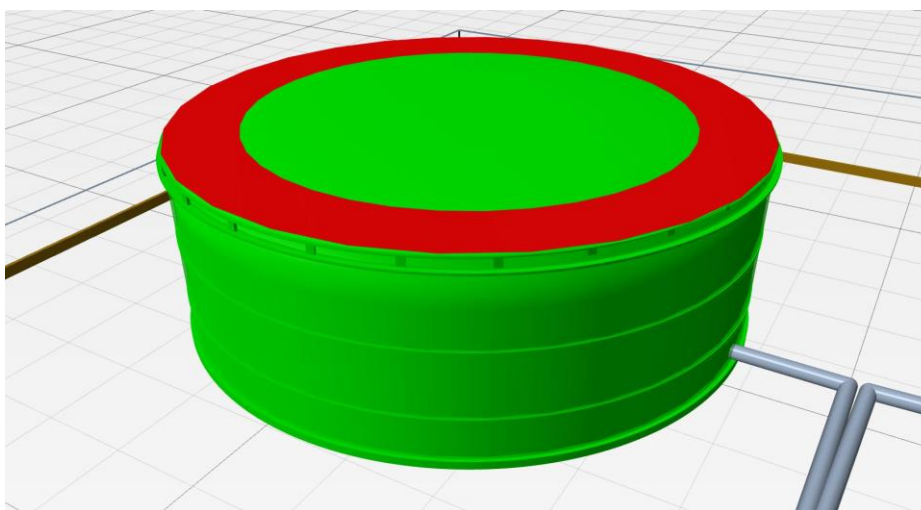


Рисунок 10 – Площадь пожара на резервуаре №1

Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия представлены на рисунке 11.

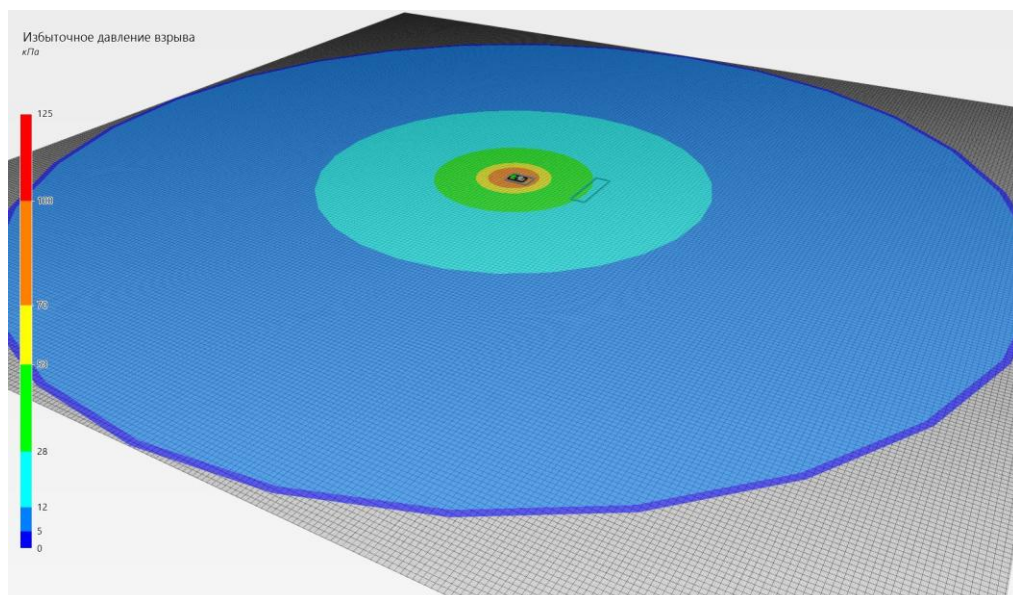


Рисунок 11 – Избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия по рассматриваемому сценарию

Размер взрывоопасной зоны представлен на рисунке 12.

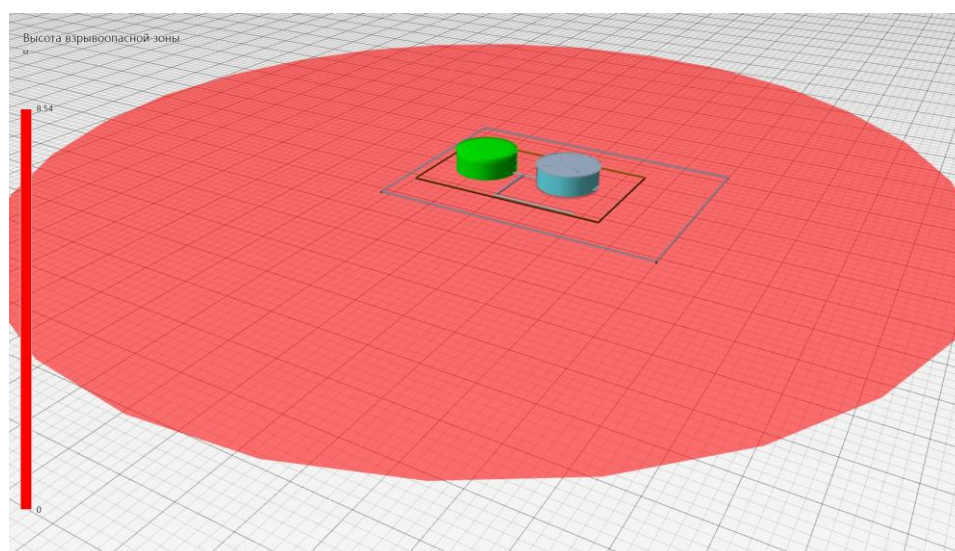


Рисунок 12 – Расположение взрывоопасной зоны по рассматриваемому сценарию

Рассмотрим количественную оценку массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения

пожароопасных ситуаций на трубопроводе 01 по сценарию «Разрушение». «Объемный расход истечения жидкости» [4]:

$$Q_{\text{ж}} = \mu \cdot \pi d^2 / 4 \cdot \sqrt{2gH_{\text{ж}}} = 0,7 \cdot \pi \cdot 900^2 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 10,9} \\ = 6,5123 \text{ м}^3/\text{с}.$$

«Массовый расход истечения жидкости» [4]:

$$G_{\text{ж}} = Q_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 6,5123 \cdot 745 = 4851,678 \text{ кг/с}.$$

Объем трубопровода составляет 63,484. «Объем вылившейся жидкости» [4]:

$$V_{\text{ж}} = 6,5123 \cdot 300 + 63,484 = 2017,18 \text{ м}^3.$$

«Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости» [4]:

$$F_{\text{П}} = f_{\text{р}} \cdot V_{\text{ж}} = 20 \cdot 2017,18 = 40343,6 \text{ м}^2.$$

Радиус круга, описывающего площадь горения – 113,3м. Масса вылившейся жидкости:

$$m_{\text{ж}} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 2017,18 \cdot 745 = 1502798,9 \text{ кг}.$$

«Максимальное время испарения до появления источника зажигания: 3600с. Давление насыщенных паров при температуре 37°C составляет» [4]:

$$P_{\text{Н}} = 10^{\left(A - \frac{B}{t + Ca}\right)} = 10^{\left(4,26511 - \frac{695,019}{37 + 223,22}\right)} = 39,284 \text{ кПа}.$$

«Интенсивность испарения с поверхности пролива» [4]:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95,3} \cdot 39,284 = 3,835 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

«Масса образовавшихся паров» [4]:

$$m_{\Pi} = W \cdot F_{\Pi} \cdot 3600 = 3,835 \cdot 10^{-4} \cdot 40343,6 \cdot 3600 = 55698,5 \text{ кг}.$$

На рисунке 13 представлено поле ОФП для сценария «Разрушение» на трубопроводе 01.

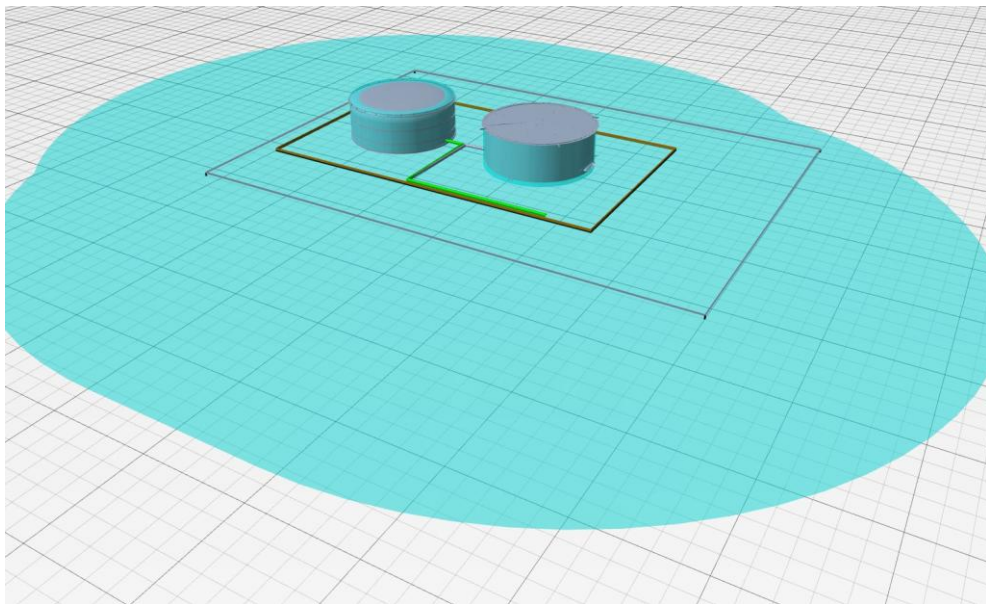


Рисунок 13 – Поле ОФП для сценария «Разрушение» на трубопроводе 01

Поле величин теплового потока при рассматриваемом сценарии представлено на рисунке 14.

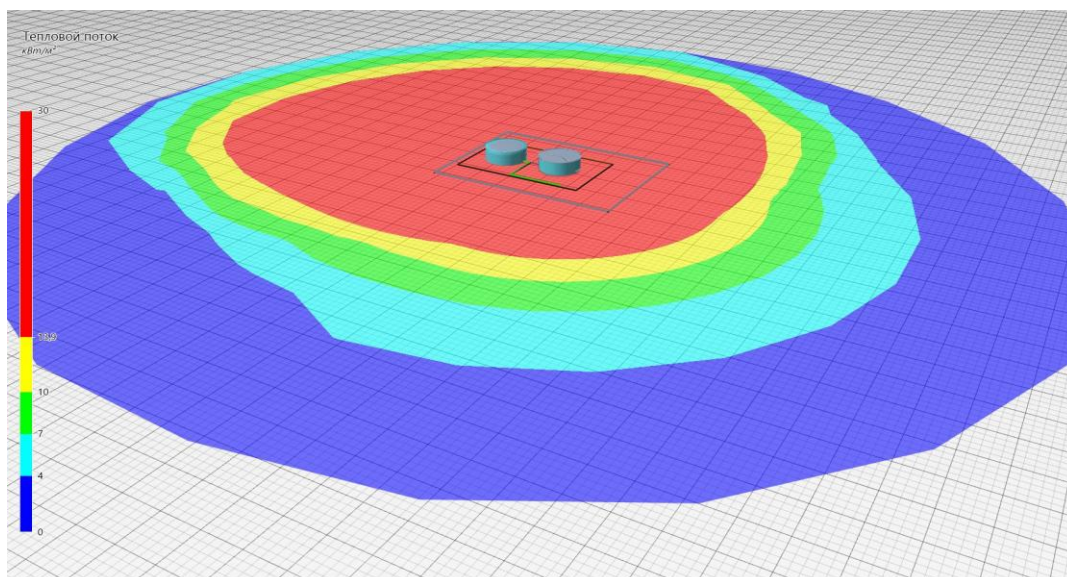


Рисунок 14 – Поле величин теплового потока при рассматриваемом сценарии

Расположение взрывоопасной зоны при сценарии «Разрушение» на трубопроводе 01 представлено на рисунке 15.

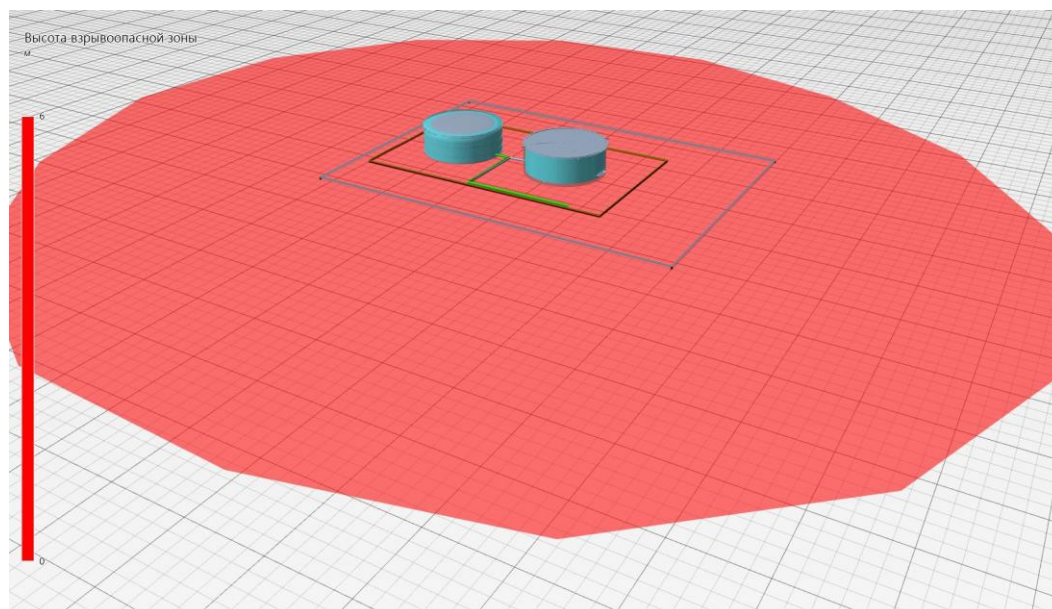


Рисунок 15 – Расположение взрывоопасной зоны при сценарии «Разрушение» на трубопроводе 01

Отметим, что визуализация процессов выполнена с помощью ПО «PromRisk».

4. Определение времени эвакуации. Оценка последствий воздействия ОФП.

На данном этапе производится расчет времени эвакуации на основе действующих расчетных методик. На этом этапе рекомендуем использовать ПО для визуализации сценария.

5. Определение потенциального риска на территории объекта и в селитебной зоне.

Величина потенциального пожарного риска в определенной точке как на территории объекта, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле 5 [4]:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{aj}(a) \cdot Q_j, \quad (5)$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{aj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год^{-1} [4].

На рисунках 16 и 17 представлены поля потенциального пожарного риска.

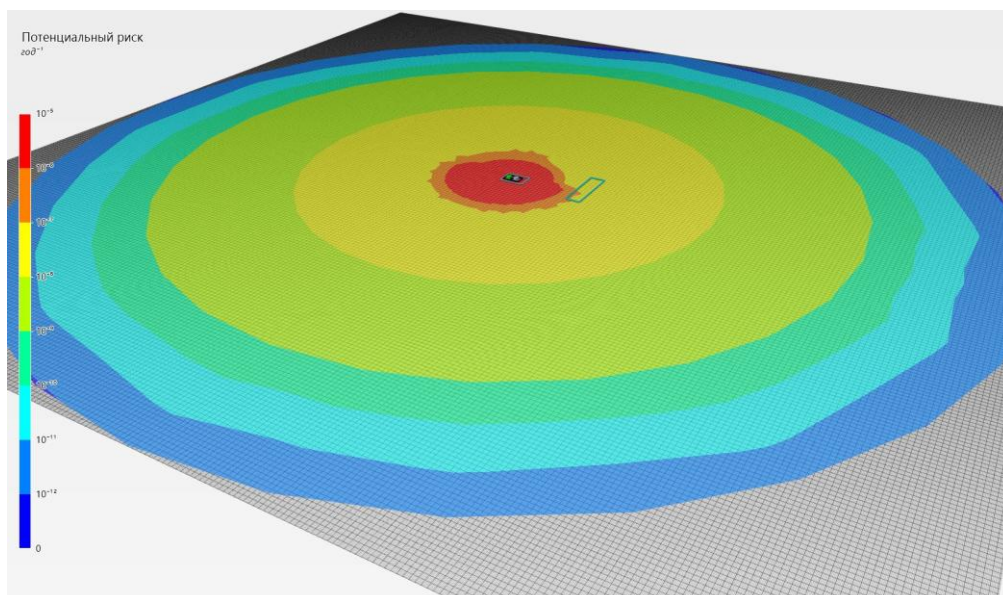


Рисунок 16 – Поле потенциального пожарного риска (Резервуар №1)

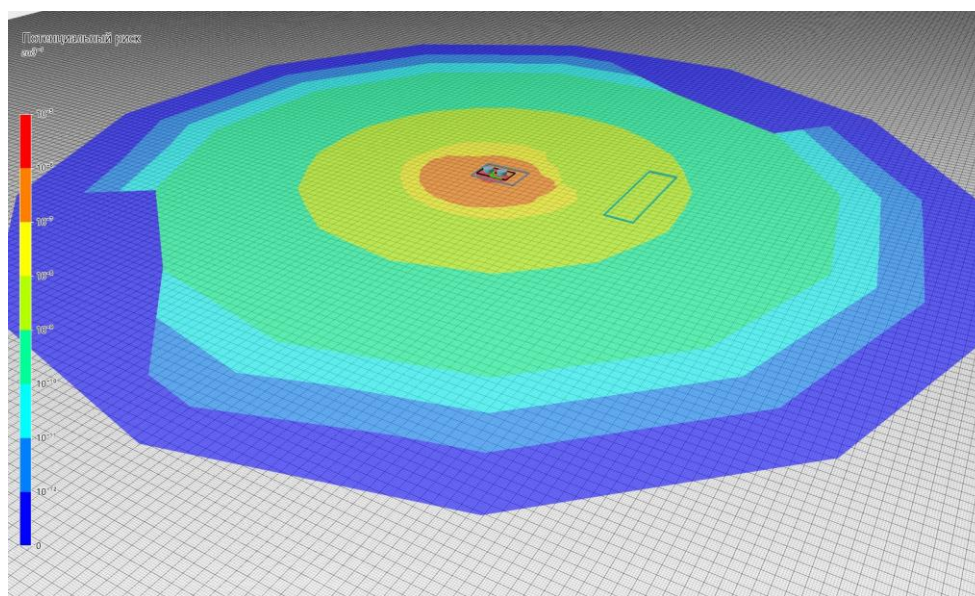


Рисунок 17 – Поле потенциального пожарного риска (Трубопровод 01)

6. Расчет индивидуального пожарного риска.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия людей в зданиях, сооружениях и строениях вблизи производственного объекта:

$$R_m = \sum_{i=1}^l q_{im} \cdot P(i), \quad (6)$$

где « $P(i)$ – интегрированная по площади величина потенциального риска в i -ой области территории в селитебной зоне, год⁻¹;

q_{im} – доли времени присутствия людей m в i -ой области территории (здании) в селитебной зоне» [4].

«Доля времени присутствия людей принимается: для зданий, сооружений и строений по функциональной пожарной опасности» [4].
Результаты расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет индивидуального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта

| Здание, область территории объекта | q_{im} | $P(i)$, год ⁻¹ | $R_m(i)$, год ⁻¹ |
|------------------------------------|----------|-------------------------------|---------------------------------|
| Люди на дачных участках | | | |
| Дачные участки | 1 | $1,91 \cdot 10^{-7}$ | $1,91 \cdot 10^{-7}$ |

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, социальный пожарный риск принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек:

$$S = \sum_{j=1}^L Q_j, \quad (7)$$

где « L — число сценариев развития пожароопасных ситуаций, для которых среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи объекта в результате воздействия ОФП, взрыва превышает 10 человек;

Q_j — частота возникновения пожароопасной ситуации (пожара), год⁻¹» [4].

В таблице 10 приведены сценарии, реализация которых ведет к гибели 10 и более человек.

Таблица 10 – Сценарии, реализация которых ведет к гибели 10 и более человек, и частота их возникновения

| Иницирующее событие | Наименование сценария | Количество погибших в селитебной зоне, чел. | Частота возникновения, год ⁻¹ |
|---------------------|-----------------------|---|--|
| Резервуар №1 | | | |
| Разрушение | взрыв ТВС | 147,59 | $6,912 \cdot 10^{-8}$ |
| Трубопровод_01 | | | |
| Разрушение | взрыв ТВС | 61,15 | $5,794 \cdot 10^{-9}$ |
| Резервуар №2 | | | |
| Разрушение | Пожар | 10,04 | $6,336 \cdot 10^{-7}$ |
| Трубопровод_02 | | | |
| Разрушение | взрыв ТВС | 64,59 | $5,918 \cdot 10^{-9}$ |

Таким образом, социальный пожарный риск составляет $1,392 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

7. Вывод. В результате прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных инцидентов на объекте может быть взрыв ТВС и пожар в резервуарах с топливом и на трубопроводах.

«Согласно, блок-схеме, приведенной на рисунке 5, необходимо обозначить пути снижения пожарного риска и разработать соответствующие мероприятия. Согласно п.3 ст.93 ФЗ №123, для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год. Необходимо принять меры по обучению персонала действиям при пожаре» [33].

Согласно п.4.1 ст.93 ФЗ №123, «для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной стомиллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной миллионной в год. При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей,

находящихся в жилой зоне, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их ПБ [33].

Сводный отчет тяжести выполнен на основе технологии прогнозирования представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Сводный отчет тяжести последствий в случае возникновения пожаровзрывоопасной ситуации

| Инцидент, приводящий к пожаровзрывоопасной ситуации | Индивидуальный пожарный риск в результате воздействия ОФП | Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и на территориях объекта | Социальный пожарный риск воздействия ОФП | Негативное воздействие на окружающую среду |
|--|---|--|---|---|
| взрыв ТВС, пожар в резервуарах с топливом и на трубопроводах | превышает нормативное значение 10^{-8} год^{-1} | превышает нормативное значение 10^{-6} год^{-1} | превышает нормативное значение 10^{-7} год^{-1} | розлив нефтепродуктов, выбросы в атмосферу, негативное воздействие на почву, гидросферу |

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития в резервуарах представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития в резервуарах

| Сценарий развития пожароопасной ситуации | Частота возникновения, год^{-1} |
|--|--|
| Разгерметизация 25 мм | |
| Пожар пролива | $3,08 \cdot 10^{-6}$ |
| Взрыв ТВС | $8,805 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар-вспышка | $2,788 \cdot 10^{-7}$ |
| Пожар пролива | $2,69 \cdot 10^{-6}$ |
| Разгерметизация 100 мм | |
| Пожар пролива | $1,8 \cdot 10^{-6}$ |
| Взрыв ТВС | $1,293 \cdot 10^{-7}$ |
| Пожар-вспышка | $8,617 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар пролива | $2,69 \cdot 10^{-6}$ |
| Разрушение | |

Продолжение таблицы 12

| Сценарий развития пожароопасной ситуации | Частота возникновения, год ⁻¹ |
|--|--|
| Пожар пролива | $8,448 \cdot 10^{-7}$ |
| Пожар на дыхательной арматуре | |
| Пожар на дыхательной арматуре | $9 \cdot 10^{-5}$ |
| Пожар по поверхности | |
| Пожар по поверхности | $9 \cdot 10^{-5}$ |
| Итого по типам сценариев: | |
| Пожар пролива (5,7 %) | $1,099 \cdot 10^{-5}$ |
| Взрыв ТВС (0,1 %) | $2,864 \cdot 10^{-7}$ |
| Пожар-вспышка (0,2 %) | $4,111 \cdot 10^{-7}$ |
| Пожар на дыхательной арматуре (47 %) | $9 \cdot 10^{-5}$ |
| Пожар по поверхности (47 %) | $9 \cdot 10^{-5}$ |
| Всего | $1,917 \cdot 10^{-4}$ |

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития на трубопроводах представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития на трубопроводах

| Сценарий развития пожароопасной ситуации | Частота возникновения, год ⁻¹ |
|--|--|
| Разгерметизация 12,5 мм | |
| Пожар пролива | $1,58 \cdot 10^{-7}$ |
| Взрыв ТВС | $1,509 \cdot 10^{-9}$ |
| Пожар-вспышка | $1,736 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар пролива | $1,383 \cdot 10^{-7}$ |
| Разгерметизация 25 мм | |
| Пожар пролива | $4,638 \cdot 10^{-7}$ |
| Взрыв ТВС | $1,326 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар-вспышка | $4,198 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар пролива | $4,051 \cdot 10^{-7}$ |
| Разгерметизация 50 мм | |
| Пожар пролива | $1,855 \cdot 10^{-7}$ |
| Взрыв ТВС | $5,303 \cdot 10^{-9}$ |
| Пожар-вспышка | $1,679 \cdot 10^{-8}$ |
| Разгерметизация 100 мм | |
| Пожар пролива | $3,364 \cdot 10^{-7}$ |
| Взрыв ТВС | $2,416 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар-вспышка | $1,61 \cdot 10^{-8}$ |
| Разрушение | |
| Пожар пролива | $8,563 \cdot 10^{-8}$ |
| Взрыв ТВС | $5,918 \cdot 10^{-9}$ |

Продолжение таблицы 13

| Сценарий развития пожароопасной ситуации | Частота возникновения, год ⁻¹ |
|--|--|
| Пожар-вспышка | $3,946 \cdot 10^{-9}$ |
| Итого по типам сценариев: | |
| Пожар пролива (94 %) | $2,302 \cdot 10^{-6}$ |
| Взрыв ТВС (2 %) | $5,014 \cdot 10^{-8}$ |
| Пожар-вспышка (3,9 %) | $9,618 \cdot 10^{-8}$ |
| Всего | $2,449 \cdot 10^{-6}$ |

Таким образом, для предотвращения возникновения пожаровзрывоопасных инцидентов предлагаются следующие мероприятия программы обеспечения ПБ в организации:

- усиление контроля за ПБ (регулярные проверки, контроль за соблюдением правил);
- разработка и актуализация планов эвакуации (планирование действий в случае пожара, обучение персонала использованию планов);
- улучшение доступа к средствам пожаротушения (обеспечение доступности огнетушителей, пожарных сигнализаций);
- совершенствование систем СПС и СОУЭ;
- проведение учений и тренировок (обучение персонала действиям в случае пожара, проведение учений).

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

Произведем расчет экономической эффективности мероприятий обеспечения ПБ на основе данных, представленных в таблице 15.

Таблица 15 – Данные по зарегистрированным пожарам

| Наименование показателя | Условное обозначение | Единица измерения | ин | пр |
|---|----------------------|-------------------|--------|--------|
| количество зарегистрированных пожаров | П | тыс. шт. | 20 | 8 |
| количество погибших людей при пожарах | Г | тыс. чел. | 5 | 2 |
| количество населения, получивших травмы при пожарах | Т | тыс. чел. | 2 | 1 |
| экономический ущерб от пожаров | Р | тыс. руб. | 50000 | 25000 |
| количество спасенных при пожарах | С | тыс. чел. | 80 | 100 |
| планируемые объемы расходов по каждому году | Срас | тыс. руб. | 150000 | 170000 |

Снижение показателя «количество зарегистрированных пожаров» в результате реализации мероприятий:

$$P_{сн} = 20 - 8 = 12, \quad (8)$$

где $P_{ин}$, $P_{пр}$ – «количество зарегистрированных пожаров, определяемое по инерционному и программному сценариям по каждому году реализации мероприятий» [15].

Снижение показателя «количество погибших людей при пожарах» $\Gamma_{сн}$ рассчитывается по формуле:

$$\Gamma_{сн} = 5 - 2 = 3 \quad (9)$$

где $\Gamma_{ин}$, $\Gamma_{пр}$ – «количество погибших людей при пожарах, определяемое по инерционному и программному сценариям по каждому году реализации мероприятий» [15].

Снижение показателя «количество населения, получившего травмы при пожарах» $T_{сн}$ рассчитывается по формуле:

$$T_{сн} = 2 - 1 = 1, \quad (10)$$

где $T_{ин}$, $T_{пр}$ – «количество населения, получившего травмы при пожарах, определяемое по инерционному и программному сценариям по каждому году реализации мероприятий» [15].

Снижение показателя «размер экономического ущерба»:

$$P_{сн} = 50000 - 25000 = 25000, \quad (11)$$

где $P_{ин}$, $P_{пр}$ – «экономический ущерб от пожаров, определяемый по инерционному и программному сценариям по каждому году реализации мероприятий» [15].

Увеличение показателя «количество спасенных при пожарах» $C_{сн}$ рассчитывается по формуле:

$$C_{сн} = 170000 - 150000 = 20000, \quad (12)$$

где $C_{ин}$, $C_{пр}$ – «количество спасенных при пожарах, определяемое по инерционному и программному сценариям по каждому году реализации мероприятий» [15].

«Для оценки экономической эффективности определяется экономический эквивалент одной единицы каждого из используемых целевых показателей с применением экспертных, статистических и расчетных методов, характеризующий среднестатистические материальные и людские потери» [15].

«Согласно статистическим данным по пожарам, средняя величина экономического ущерба на одном пожаре $\mathcal{E}_п$ составляет 300000 рублей» [31].

Таким образом, «оценка $\mathcal{E}_п$ является экономическим эквивалентом двух показателей: количество зарегистрированных пожаров и размер

экономического ущерба. Под экономическим эквивалентом 1 погибшего \mathcal{E}_r понимается возмещение, которое должны получить родственники погибшего в результате пожара. Оценка экономического эквивалента человеческой жизни, включающего оценку полученного образования, способность к труду и созданию определенных материальных или духовных ценностей, цену поддержания здоровья и другое, в зависимости от возраста человека составляет в среднем 3000000 рублей. В расчетах принята величина 3800000 рублей на 1 погибшего. Под экономическим эквивалентом 1 травмированного $\mathcal{E}_{тр}$ понимается, соответственно, возмещение, которое должен получить человек при потере здоровья в результате пожара. В расчетах принята величина 500000 рублей на 1 травмированного. Под экономическим эквивалентом 1 спасенного $\mathcal{E}_{сп}$ понимается возможный вклад спасенного человека в развитие экономики государства. В расчетах принята величина, равная 3800000 рублей на 1 спасенного.

Определение величины эффекта по снижению социально-экономического ущерба $Y_{СЭУ}$ при реализации мероприятий осуществляется по формуле» [15]:

$$Y_{СЭУ} = 20000 + (3 \cdot 3800000) + (1 \cdot 500000) + (25000 \cdot 3800000) = 95011920000 \quad (13)$$

Общий социально-экономический эффект от реализации мероприятий $S_{\mathcal{E}}$ определяется по формуле:

$$S_{\mathcal{E}} = 95011920000 - 170000 = 95011750000, \quad (14)$$

где $C_{рас}$ – «планируемые объемы расходов по программному сценарию реализации мероприятий» [15].

«Вклад от реализации мероприятий в доходы федерального бюджета определяется как доля бюджета в валовом внутреннем продукте. По официальным данным, указанная доля составляет 10%» [15]. Расчет производится по формуле:

$$D_{фб} = 95011750000 \cdot 0,1 = 950117500 \quad (15)$$

Итоговые показатели представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Итоговые показатели расчета

| Наименование показателя | Условное обозначение | Единица измерения | Значение |
|--|----------------------|-------------------|-------------|
| Снижение показателя «количество зарегистрированных пожаров» | Псн | шт. | 12 |
| снижение показателя «количество погибших людей при пожарах» | Гсн | чел. | 3 |
| снижение показателя «количество населения, получившего травмы при пожарах» | Тсн | чел. | 1 |
| снижение показателя «размер экономического ущерба» | Рсн | тыс. руб. | 25000 |
| увеличение показателя «количество спасенных при пожарах» | Ссн | чел. | 20000 |
| эффект по снижению социально-экономического ущерба | Усэу | тыс. руб. | 95011920000 |
| общий социально-экономический эффект | Сэ | руб. | 95011750000 |
| вклад от реализации мероприятий в доходы федерального бюджета | Дфб | руб. | 950117500 |

Выводы по разделу: на основе сравнительного анализа современных методов и программного обеспечения разработана блок-схема поэтапного проведения прогноза тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий. Представленная блок-схема может быть оптимизирована и применена на предприятиях различной отрасли промышленности. На основе блок-схемы разработана технология прогнозирования тяжести последствий

пожаровзрывоопасных аварий, и, применена к одной из организаций, с которой у ООО «ПротивоПожарныеТехнологии НиС» (предприятие на базе которого выполнена магистерская диссертация) заключен договор. Для сохранения конфиденциальности наименование предприятия не указано, предприятие относится к нефтегазовой отрасли, в распоряжении которого находится резервуарный парк.

В результате прогнозирования определены последствия и тяжесть в случае возникновения пожаровзрывоопасных инцидентов на объекте. Для предотвращения возникновения пожаровзрывоопасных инцидентов в разделе обозначены пути снижения пожарных рисков и предложены мероприятия. Вклад от реализации комплекса предложенных мероприятий в доходы федерального бюджета 950117500 рублей.

Заключение

В первом разделе магистерской диссертации выявлено, что заявленная тема магистерской диссертации актуальна, что отражено в исследованиях, как отечественных, так и зарубежных авторов. Законодательство Российской Федерации направлено на снижение тяжести последствий пожароопасных аварий на предприятиях, посредством утверждения требований к различным аспектам, влияющих на пожарную безопасность.

Разработка и внедрение мер по предотвращению пожаров, минимизации их последствий и снижения пожарного риска в целом заключается в выполнении ряда мероприятий, которые могут различаться, в зависимости от особенностей рассматриваемого объекта. Прогнозирование тяжести последствий позволяет своевременно принимать меры для предотвращения аварий или минимизации их негативных последствий, что обеспечивает пожарная безопасность. При прогнозировании тяжести последствий возможных пожароопасных ситуаций на производстве необходимо оценить эффективность систем пожаротушения: проверить работоспособность систем пожаротушения и их способности быстро и эффективно ликвидировать пожар. На тяжесть последствий возможных пожароопасных ситуаций влияет грамотное и своевременное действие персонала предприятия. В этой связи необходимо сделать акцент на обучении персонала: проведение тренингов и инструктажей – чтобы работники знали, как действовать в случае пожара и какие меры предосторожности следует принимать.

В организации должна осуществляться работа по оформлению и актуализации планов эвакуации: создание планов эвакуации на случай пожара, которые помогут людям быстро и безопасно покинуть здание.

Работа в направлении обеспечения пожарной безопасности должна осуществляться не только непрерывно, но и с использованием современных

методах, технологиях, средств анализа и прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий на производствах.

Во втором разделе определены методы прогнозирования тяжести последствий пожара. Для прогнозирования последствий пожара будем использовать такие методы, как: статистические, вероятностные, метод дерева отказов и математические модели.

Статистический метод основан на анализе данных о прошлых пожарах и выявлении закономерностей, которые можно использовать для предсказания будущих событий.

Вероятностный метод используется для оценки вероятности возникновения пожара и определения возможных последствий, а математическое моделирование позволяет предсказать тяжесть последствий на основе различных факторов, таких как размер помещения, скорость распространения огня и т.д.

Использование программного обеспечения с целью прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных ситуаций и впоследствии снижения пожарного риска на объекты, значительно ускоряет и облегчает процесс.

Однако, получение лицензии на использование ПО не бесплатно, но на предприятиях необходимо использовать лицензионное программное обеспечение. Нелицензионное программное обеспечение может нарушать авторские права и привести к юридическим последствиям.

В третьем разделе на основе блок-схемы разработана технология прогнозирования тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий, и, применим к одной из организаций, с которой у ООО «Противопожарные Технологии НиС» (предприятие на базе которого выполнена магистерская диссертация) заключен договор. Для сохранения конфиденциальности наименование предприятия не указано, предприятие относится к нефтегазовой отрасли, в распоряжении которого находится резервуарный парк. Для предотвращения возникновения

пожаровзрывоопасных инцидентов предлагаются следующие мероприятия программы обеспечения ПБ в организации: информирование о правилах пожарной безопасности); усиление контроля за ПБ (регулярные проверки, контроль за соблюдением правил); разработка и актуализация планов эвакуации (планирование действий в случае пожара, обучение персонала использованию планов); улучшение доступа к средствам пожаротушения (обеспечение доступности огнетушителей, пожарных сигнализаций); совершенствование систем СПС и СОУЭ; проведение учений и тренировок (обучение персонала действиям в случае пожара, проведение учений).

Для предотвращения возникновения пожаровзрывоопасных инцидентов в разделе обозначены пути снижения пожарных рисков и предложены мероприятия. Прогнозирование тяжести последствий пожара на производствах, в первую очередь, необходимо для эффективного управления пожарной безопасностью. Рассмотрим подходы, применяемые к оценке вероятности возникновения пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях. Научный подход включает в себя методы и способы достижения цели.

В работе представлена модель учета факторов тяжести последствий пожароопасных аварий, этапы прогнозирования и, на основе полученных результатов предложены пути решения по снижению пожарных рисков для конкретного предприятия. При прогнозировании необходимо учитывать специфические характеристики производственных объектов, такие как наличие легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ, а также особенности технологического процесса. Также важно учитывать возможность возникновения вторичных поражающих факторов, таких как тепловое излучение, токсичные газы и аэрозоли, образующиеся при горении и взрыве. Значимость проведенного исследования заключается в применении процедуры прогнозирования тяжести последствий возможных пожаровзрывоопасных аварий. Вклад от реализации комплекса предложенных мероприятий в доходы федерального бюджета 950117500 рублей.

Список используемых источников

1. Александренко М.В., Акулова М.В., Ибрагимов А.М. Математическое моделирование пожара // МНИЖ. 2015. № 4–1 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 18.02.2024).
2. Берестова С. А. Математическое моделирование в инженерии : учебник / С. А. Берестова, Н. Е. Мисюра, Е. А. Митюшов. Екатеринбург : УрФУ, 2018. 244 с.
3. Буре В. М. Теория вероятностей и вероятностные модели : учебник / В. М. Буре, Е. М. Парилина, А. А. Седаков. Санкт-Петербург : Лань, 2020. 296 с.
4. Гордиенко Д.М., Лагозин А.Ю. и др. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / 2-е изд., испр. и доп. – М.: ВНИИПО, 2019. – 344 с.
5. Дали Ф.А. Теоретические основы построения риск-ориентированных моделей управления пожароопасными событиями / Научный журнал «Инженерный вестник Дона» (учредители: Ростовское региональное отделение общероссийской общественной организации «Российская инженерная академия»), №9(81), 2021, С.77-86.
6. Еналеев Р.Ш., Теляков Э.Ш., Красина И.В., Гасилов В.С., Тучкова О.А. Системный подход в прогнозировании последствий воздействия опасных факторов пожара / Вестник Казанского технологического университета №7, 2022, С.322-332.
7. Исаков А.Н. Прогнозирование тяжести последствий пожаровзрывоопасных аварий на предприятиях / Международный научно-практический журнал «Экономика и социум», № 02(117) 2024 - ISSN 2225-1545, С.55-60.
8. Капровская Н.Н. Прогнозирование последствий и ущерба от пожаров природного характера в зависимости от сезонных и погодных факторов на основе анализа статистических данных (на примере Тульской

области) / Научный журнал «Актуальные исследования», №19 (98), 2022, С.22-28.

9. Кировский О. М. Анализ технических систем. Анализ дерева отказов : учебно-методическое пособие / О. М. Кировский, А. С. Королев. Москва : РТУ МИРЭА, 2023. 46 с.

10. Кононенко Е.В., Миронов А.Н. Системный подход к обеспечению пожарной безопасности промышленных предприятий / сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Техническое регулирование в едином экономическом пространстве», г. Екатеринбург, 2021, С.54-60.

11. Кононенко Е.В., Мокроусова О.А., Черкасский Г.А., Миронов А.Н. Актуальные проблемы практического применения риск-ориентированного подхода / Научный журнал «Техносферная безопасность» (учредители: Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России), №2(39), 2023, С. 72-80.

12. Мальков Д.М. Программа для математического моделирования прогноза распространения лесного пожара / Научный журнал «ИТ АРКТИКА» (учредители: Государственное автономное учреждение Республики Коми Центр информационных технологий), №2, 2020, С.3-18.

13. О пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 19.10.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2024). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения 24.02.2024 года).

14. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084 (вместе с «Правилами проведения расчетов по оценке пожарного риска»). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358202/ (дата обращения 24.02.2024 года).

15. О федеральной целевой программе «Пожарная безопасность в Российской Федерации» [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 30.12.2012 № 1481 (ред. от 07.06.2017), Приложение № 11. Методика оценки ожидаемой эффективности и результативности федеральной целевой программы «Пожарная безопасность в Российской Федерации». URL: <https://bazanpa.ru/pravitelstvo-rf-postanovlenie-n1481-ot30122012-h2000766/programma/prilozhenie11/?ysclid=lt313x1qex648443732> (дата обращения 24.02.2024 года).

16. О федеральном государственном пожарном надзоре [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 12.04.2012 № 290 (ред. от 14.09.2023) (вместе с «Положением о федеральном государственном пожарном надзоре»). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_128492/8c53f426288004bb39e47832e9a9a6765dc52644 (дата обращения 24.02.2024 года).

17. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 14.11.2022 № 1140 (Зарегистрировано в Минюсте России 20.03.2023 № 72633). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_442656/ (дата обращения 24.02.2024 года).

18. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс] : Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010) (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 № 14541). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91229/ (дата обращения 24.02.2024 года).

19. Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 21.11.2008 № 714 (ред. от 17.11.2020) (Зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2008 № 12842). URL:

<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=388485&ysclid=lt1fmiodro490901958> (дата обращения 24.02.2024 года).

20. Об утверждении свода правил «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности» [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 20.07.2020 № 539 (вместе с "СП 486.1311500.2020. Свод правил...") URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370887/ (дата обращения 24.02.2024 года).

21. Об утверждении свода правил «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования» [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 31.07.2020 № 582 (вместе с СП 484.1311500.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376143/ (дата обращения 24.02.2024 года).

22. Об утверждении свода правил «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» [Электронный ресурс] : Приказ МЧС России от 31.08.2020 № 628 (вместе с СП 485.1311500.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363050/ (дата обращения 24.02.2024 года).

23. Об утверждении требований к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при

пожаре [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 01.09.2021 № 1464. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_394758/ (дата обращения 24.02.2024 года).

24. Отчет Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России за 2022, 2023 гг., Москва, 2023, 47с.

25. Пешехонова М.А. Методика расчета пожарного риска и прогнозирование динамики развития пожара / М. А. Пешехонова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. № 29 (476), 2023, С. 213-215.

26. Прогнозирование опасных факторов пожара : учебное пособие / составители Р. В. Долгов [и др.]. Хабаровск : ДВГУПС, 2020. 115 с.

27. Прогнозирование опасных факторов пожара: определение расчетных величин пожарного риска общественных зданий и сооружений : учебное пособие / Ю. И. Иванов, Д. А. Бесперстов, А. С. Мамонтов, Е. И. Стабровская. Кемерово : КемГУ, 2013. 122с.

28. Рашоян И. И. Расчетные методы оценки пожарного риска : учебно-методическое пособие / И. И. Рашоян. Тольятти : ТГУ, 2017. 225 с.

29. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 12.3.047-2012. Национальный стандарт Российской Федерации (утв. и введены в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 № 1971-ст). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505?ysclid=lt1fz0ddx2854762084> (дата обращения 24.02.2024 года).

30. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс] : ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 14.06.1991 № 875) (ред. от 01.10.1993). URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953?ysclid=lt1giwkwrq486280558> (дата обращения 24.02.2024 года).

31. Статистика пожаров : учебное пособие / С. Н. Масаев, А. Н. Минкин, Д. А. Едимичев [и др.]. Красноярск : СФУ, 2019. 148 с.

32. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения 24.02.2024 года).

33. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023). Расчеты по оценке пожарного риска являются составной частью декларации пожарной безопасности или декларации промышленной безопасности (на объектах, для которых они должны быть разработаны в соответствии с законодательством Российской Федерации). Статья 93. Нормативные значения пожарного риска для производственных объектов. Глава 21. Порядок проведения анализа пожарной опасности производственного объекта и расчета пожарного риска. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения 04.02.2024 года).

34. Хруничев Р. В. Прикладные статистические методы анализа : учебное пособие / Р. В. Хруничев. Рязань : РГРТУ, 2023. 80 с.

35. Щербина В.И. Техническое регулирование в сфере безопасности - современные подходы / Сборник трудов Международной научной конференции Московского физико-технического института (государственного университета) института физико-технической информатики, г. Москва, 2018, С.14-25.

36. Ahmed M. Salem, Heba Leheta. Forecasting the behavior and consequences of fires / *Technosphere and employee health*, №9(18), 2019, P.105–118.

37. Bradstock, R.A., J.S. Cohn, A.M. Gil, M. Bedward, and C. Lucas. Prediction of the probability of large fires / *International Journal of Wildland Fire*, №2(18), 2023, P.932-948.

38. Chuvieco, E., G. Louis, and C. Justice. Global characteristics of fire activity: towards the definition of fire regimes based on observational data and statistics / *Global Change Biology*, №14, 2019, P.1488–1502.

39. Matthew B. Dickinson, Kevin K. Ryan. Fundamentals of fire impact forecasting for scientific research and management / *Fire Ecology*, №1(12), 2021, P.122-131.

40. Salem A. Fire safety design / *Journal of Occupational Safety and Health*, №2, P.155–187.