

***ТР-5049***

---

# **ОЦЕНКА ПОЖАРНОГО РИСКА**

**Обзор зарубежных источников**

---

**СИТИС**

---

Строительные Информационные Технологии и Системы  
[www.sitis.ru](http://www.sitis.ru)

**ТР-5049**

## **Оценка пожарного риска**

**Обзор зарубежных источников.**

**Редактор:**

**Грачев В. Ю.**

**Переводчики:**

**Борноволокова Е. А.**

**Патрушева Н. А.**

**Сермягина Н. Б.**

**Слепушкин В. А.**

**Тебнева Т. И.**

**Топорков А. С.**

**© ООО «СИТИС», 2010 г.**

**© Грачев В.Ю., 2010 г.**

**ООО «СИТИС»**

**620028 Екатеринбург, ул. Долорес Ибаррури, 2**

**Тел: 310-00-99 e-mail: support@sitis.ru**

**[www.sitis.ru](http://www.sitis.ru)**

**Текст этого документа в формате PDF распространяется через  
Интернет-магазин [shop.sitis.ru](http://shop.sitis.ru)**

# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ.....	5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	13
ВЫДЕРЖКИ ИЗ BS 7974.....	17
BS 7974. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил».....	18
Введение.....	18
1. Область применения.....	19
3. Термины и определения.....	22
4. Применение.....	24
5. Документирование и предоставление результатов.....	29
6. Качественная оценка проекта (QDR).....	31
7. Количественный анализ.....	39
8. Оценка выполнения критериев.....	41
ВЫДЕРЖКИ ИЗ PD 7974-7.....	44
PD 7974-7. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска».....	45
Введение.....	45
1. Область применения.....	46
2. Термины и определения.....	47
3. Методология проектирования.....	49
4. Критерии допустимости.....	53
5. Стандартный вероятностный анализ.....	56
6. Комплексный анализ.....	70
7. Данные.....	106
8. Перспективы развития.....	111
Приложение А. Таблицы.....	112
ВЫДЕРЖКИ ИЗ NFPA 551.....	120
NFPA 551. «Руководство по анализу оценки пожарного риска».....	121
Введение.....	121
1. Административная часть.....	122
3. Термины и определения.....	123
4. Анализ методов оценки пожарного риска.....	125
5. Методы оценки пожарного риска: выбор и анализ.....	129
6. Требования к информации.....	141
7. Документация.....	145
8. Методы проверки оценки пожарного риска.....	150
ВЫДЕРЖКИ ИЗ РУКОВОДСТВА SFPE ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА.....	152
«Техническое руководство SFPE по оценке пожарного риска».....	153
Введение.....	153
1. Область применения.....	155
2. Термины и определения.....	157
3. Краткий обзор оценки пожарного риска.....	161
4. Содержание и цели проекта.....	165
5. Задачи, система показателей и пороговые значения.....	167
6. Опасные факторы.....	171
7. Сценарии пожара.....	177
8. Сценарии пожара.....	179
9. Данные.....	183
10. Частотный анализ.....	187
11. Анализ последствий.....	190
12. Расчет риска.....	193
13. Анализ неопределенности.....	198
14. Оценка допустимости риска.....	203
15. Документация.....	205
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	208

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время, в связи с развитием в нашей стране «гибкого» нормирования в проектировании зданий и сооружений и в связи с принятием федерального закона «Технический регламент об общих требованиях пожарной безопасности», в практику проектирования и при оценке достаточности противопожарных мероприятий введён единый количественный показатель – пожарный риск. Таким образом, для проектирования и пожарного аудита в случае, если по какой-либо причине принято решение не пользоваться добровольными нормами в области пожарной безопасности, требуется применение только вероятностных методов оценки. Ввиду того, что данный подход не был широко известен в практике проектирования до введения технического регламента о требованиях пожарной безопасности, при резком переходе на новую методологию проектирования противопожарных систем на основе расчёта пожарного риска, у отечественных специалистов нет в достаточном количестве научной, учебной и методической литературы по данной методологии.

В связи с этим может быть интересен опыт зарубежных коллег, несколько десятков лет использующих «гибкие» национальные нормы и расчётные методы в противопожарной защите объектов строительства. Такие понятия как «валидация моделей пожаров», «верификация расчётов», «анализ неопределённости», «анализ чувствительности», являющиеся элементами отработанной рутинной процедуры анализа противопожарной защиты у специалистов многих стран Европы, Америки, Азии, Австралии, в России не используются вообще или упоминаются в расчётных методиках и расчётах крайне скупо.

Несмотря на то, что практически везде зарубежные специалисты могут использовать различные подходы для проектирования – детерминированный, сравнительный и вероятностный, и что наиболее распространённым является детерминированный подход, применение в практике вероятностного подхода на основе оценки риска активно развивается практически во всех зарубежных странах. В связи с этим многие национальные институты стандартизации и инженерные общества в последние несколько лет обобщили имеющуюся практику расчётов пожарного риска и доступные данные о вероятностях различных иницилирующих событий.

В данном обзоре приведены выдержки из британских стандартов и руководств серии BS 7974, являющихся одними из наиболее широко используемых в мире стандартов в области расчётных методов пожарной безопасности, а также руководств американских обществ инженеров противопожарной защиты NFPA и SFPE.

## ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ

Обзор «Оценка пожарного риска» составлен на основе информации, изложенной в следующих британских и американских источниках:

- Британский стандарт BS 7974 «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил», 2001 года издания;
- Документ PD 7974-7 «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска», 2003 года издания;
- Документ NFPA 551 «Руководство по анализу оценки пожарного риска» 2010 года издания, разработанный в США Национальной ассоциацией по противопожарной защите (NFPA);
- «Техническое руководство SFPE по оценке пожарного риска», разработанное в США Обществом инженеров противопожарной защиты (SFPE) в 2006 году.

В тексте сохранены порядок изложения и стилистика зарубежных источников.

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Анализ дерева отказов (FTA, Fault Tree Analysis)** – метод, с помощью которого события, взаимодействующие между собой и порождающие новые события, могут быть соотнесены посредством использования простых логических зависимостей, позволяющих осуществить систематизированное построение структуры, представляющей собой систему. [SFPE]

**Анализ характеров и последствий отказов (FMEA, Failure Modes and Effects Analysis)** – средство систематического анализа всех характеров отказов компонентов и определения результирующих воздействий на систему. [SFPE]

**Безопасная зона (place of safety)** – заранее установленная зона, в которой люди защищены от непосредственной опасности воздействия пожара. Безопасная зона может находиться как внутри, так и снаружи здания, в зависимости от стратегии эвакуации. [BS 7974]

**Безопасность (safety)** – отсутствие недопустимого риска причинения ущерба. [PD 7974-7]

**Валидация (validation)** – процесс определения правильности допущений и основных уравнений метода. [NFPA 551]

**Верификация (verification)** – процесс определения правильности расчетов или решений основных уравнений метода. [NFPA 551]

**Вероятностная модель (probabilistic model)** – методология статистического определения вероятности и результата событий. [PD 7974-7]

**Вероятностная модель (probabilistic model)** – модель, чьи выходные данные являются вероятностями или распределениями вероятностей. [NFPA 551]

**Вероятностная оценка риска (probabilistic risk assessment)** – методология статистического определения вероятности возникновения и результата событий. [BS 7974]

**Вероятностный анализ (probabilistic analysis)** – оценка ущерба от пожара и последствий пожара, включающая рассмотрение возможности разных сценариев пожара и входных данных, которые определяют эти пожарные сценарии. [SFPE]

**Вероятность (probability)** – возможность возникновения конкретного события. [SFPE]

**Вероятность (probability)** – возможность события, выраженная числом от 0 до 1. [NFPA 551]

**Взаимосвязанный отказ (common mode failure)** – отказ, являющийся результатом события (событий), которое, вследствие взаимозависимостей, вызывает совпадение состояний отказа компонентов в двух или более отдельных каналах избыточной системы и ведет к невозможности конкретной системы выполнять ее требуемую функцию. [PD 7974-7]

**Включенный в перечень (listed)** – оборудование, материалы или услуги, включенные в перечень, опубликованный организацией, утвержденной компетентным органом и занимающейся оценкой продукции или услуг, которая проводит периодическое инспектирование производства оборудования или материалов, включенных в перечень, или периодическую оценку услуг, чей перечень указывает на то, что оборудование, материал или услуга соответствуют требуемым специализированным стандартам, либо, что они были испытаны и подтвердили свое соответствие конкретной цели. [NFPA 551]

**Возможность (likelihood)** – частота, вероятность или их сочетание. [NFPA 551]

**Время выхода (escape time)** – расчетный период времени от момента возгорания до момента, когда все лица, находящиеся в конкретной части здания, доберутся до безопасной зоны. [BS 7974]

**Время движения (travel time)** – время от начала движения, которое требуется для перемещения всех лиц, находящихся в конкретной части здания, в безопасную зону. [BS 7974]

**Время до начала движения (pre-movement time)** – период времени от момента оповещения о пожаре (сигналом тревоги или при непосредственном появлении дыма или огня) до начала движения в сторону выхода. [BS 7974]

**Время эвакуации (*evacuation time*)** – период времени от момента оповещения о пожаре до момента, когда все лица, находящиеся в здании, доберутся до безопасной зоны. [BS 7974]

**Вспышка (*flashover*)** – внезапный переход от локального пожара к воспламенению всех подвергающихся воздействию горючих поверхностей в пределах помещения, где произошло возгорание. [BS 7974]

**Выход (*exit*)** – дверной проем или другой проход, открывающий доступ к безопасной зоне. [BS 7974]

**Выявленная неисправность (*revealed fault*)** – неисправность, которая становится очевидной при отказе элемента выполнять требуемую функцию. [PD 7974-7]

**Группа (кластер) сценариев пожара (*fire scenario cluster*)** – группа сценариев, имеющих несколько (но не все) общих определяющих характеристик. [NFPA 551, SFPE]

**Детерминированная модель (*deterministic model*)** – модель, чьи выходные данные не являются вероятностями или распределениями вероятностей, т.е. в них не измеряется неопределенность. [NFPA 551]

**Детерминированный (*deterministic*)** – основанный на физических закономерностях, выведенных из научных теорий и практических результатов, которые для заданного набора исходных условий всегда дают один и тот же результат. [PD 7974-7, SFPE]

**Детерминированный анализ (*deterministic analysis*)** – методология, основанная на физических закономерностях, выведенных из научных теорий и эмпирических результатов, которые для заданного набора исходных условий дают один и тот же результат или прогноз. [BS 7974, SFPE]

**Должен, следует, необходимо (*should*)** – указывают на рекомендательный характер, а не на требование. [NFPA 551]

**Допустимый (приемлемый) риск (*tolerable risk*)** – максимальный уровень риска в здании, признанный допустимым соответствующим надзорным органом. [PD 7974-7]

**Допустимый риск (*acceptable risk*)** – предполагаемый риск, считающийся допустимым по результатам сравнения с одним или более порогами допустимости. [SFPE]

**Задача (*objective*)** – условие, связанное с пожаром, зданием, системой или пользователями здания, которое необходимо выполнить для достижения цели по пожарной безопасности. [SFPE]

**Заинтересованное лицо (*stakeholder*)** – человек, группа людей или организация, которые могут повлиять на риск, на которых может повлиять риск, или которые считают, что на них может повлиять риск. [NFPA 551, SFPE]

**Избыточность (*redundancy*)** – наличие более одного способа выполнения функции. [PD 7974-7]

**Индивидуальный риск (*individual risk*)** – риск, имеющий отношение к конкретному человеку, а не к населению в целом. [SFPE]

**Индивидуальный риск (*individual risk*)** – частота, с которой человек может подвергаться определенной степени опасности причинения вреда здоровью при реализации определенных опасных факторов. [PD 7974-7]

**Инженер по пожарной безопасности (*fire safety engineer*)** – лицо, обладающее соответствующей квалификацией и опытом в области пожарно-технического анализа. [BS 7974]

**Иницирующее событие (*initiating event*)** – первое событие, зафиксированное в хронологии, смоделированной деревом событий. [SFPE]

**Иницирующее событие (*initiating event*)** – событие, ведущее к другим событиям и одному или более результатам. [PD 7974-7]

**Иницирующий опасный фактор (*initiating hazard*)** – опасный фактор, который может вызвать начало пожара, проявляющийся в виде события возгорания или события, являющегося частью последовательности событий, приведших к возгоранию. [SFPE]

**Исследование опасности и работоспособности (*Hazard and Operability (HAZOP) study*)** – систематический метод выявления опасных факторов процесса и потенциальных проблем в эксплуатации с использованием ряда ключевых слов для исследования отклонений в процессе. [SFPE]

**Компетентный орган (*authority having jurisdiction*)** – организация, офис или человек, ответственные за утверждение проектов, оборудования, установки, материалов или процедур. [SFPE]

**Компетентный орган (*authority having jurisdiction, AHJ*)** – организация, офис или специалист, ответственные за приведение в исполнение требований норм или стандартов либо за утверждение оборудования, материалов, установки или процедуры. [NFPA 551]

**Коэффициент запаса (*safety factor*)** – поправка, компенсирующая неопределенность в методах, расчетах и допущениях, применяемых при разработке инженерных проектов. [SFPE]

**Краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты (*fire protection engineering design brief*)** – документ, резюмирующий согласованные критерии допустимости и методы, которые будут использоваться при оценке опытных конструкций. [SFPE]

**Краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты (*fire protection engineering design brief*)** – описание планируемого подхода к проекту, в которое входит рассмотрение вопросов проведения оценки пожарного риска. [NFPA 551]

**Критерии допустимости (*acceptance criteria*)** – это единицы измерения и пороговые значения, в соответствии с которыми проводится анализ оценки пожарного риска. [NFPA 551]

**Критерии допустимости (*tenability criteria*)** – предельно допустимое воздействие опасных факторов пожара, которое может быть выдержано без поражения. [BS 7974]

**Малозначительный риск (*de minimis risk*)** – от латинского изречения «*de minimis non curat lex*» или «закон не занимается пустяками». Предполагается снижение риска до такого уровня, ниже которого нет необходимости беспокоиться. [SFPE]

**Маркированный (*labeled*)** – оборудование или материалы, имеющие наклейку, символ или иной идентификационный знак организации, утвержденной компетентным органом и занимающейся оценкой продукции, которая проводит периодическое инспектирование производства маркированного оборудования или материалов, и с помощью маркировки которой производитель подтверждает соответствие требуемым стандартам или функционирование в соответствии с техническими условиями. [NFPA 551]

**Метод (*method*)** – процедура или способ, помогающие в решении модели. [NFPA 551]

**Механизм отказов (*failure mechanism*)** – причинный фактор отказа, обычно физический или химический процесс, конструктивный недостаток, неправильное применение компонентов, дефект качества или иной процесс, являющийся основной причиной отказа. [SFPE]

**Модель (*model*)** – имитация события. [NFPA 551]

**Надежность (*reliability*)** – способность элемента выполнять требуемую функцию в заданных условиях в течение заданного периода времени. [PD 7974-7, SFPE]

**Надзорный орган (*approvals body*)** – организация, в чьей компетенции находится рассмотрение пожарной безопасности зданий. В качестве представителей надзорных органов могут выступать: местная строительная инспекция, инспектора по пожарному надзору и управление пожарной безопасности. [BS 7974]

**Опасность (*hazard*)** – потенциально опасная для здоровья человека ситуация. [PD 7974-7]

**Опасность (*hazard*)** – условие или физическая ситуация, которые могут нанести вред. [SFPE]

**Отчет о концепции оценки пожарного риска (*fire risk assessment concept report*)** – описание запланированного подхода к проведению оценки пожарного риска. [SFPE]

**Оценка (*assessment*)** – проведение исследования с целью получения обоснованного заключения. [PD 7974-7]

**Оценка пожарного риска (*Fire Risk Assessment, FRA*)** – процедура определения риска, связанного с пожаром, при которой исследуется интересующий сценарий или сценарии пожара, вероятность их возникновения и потенциальные последствия. Для описания процедуры «оценки пожарного риска», используемой в данном руководстве, в других документах могут использоваться иные термины, такие как «анализ пожарного риска», «пожароопасность», «анализ опасных факторов» и «анализ оценки пожароопасности». [NFPA 551]



**Оценка пожарного риска (*FRA, Fire Risk Assessment*)** – установленная процедура подсчета и оценки пожарного риска, рассматривающая сценарии пожара и группы сценариев пожара вместе со связанными с ними вероятностями и последствиями, используя один или более порогов допустимости. [SFPE]

**Плотность пожарной нагрузки (*fire load density*)** – отношение пожарной нагрузки к площади помещения. [BS 7974]

**Погрешность измерения (*bias*)** – показатель того, насколько хорошо среднее значение набора данных прогнозирует ту количественную величину, которая должна быть оценена, исходя из этого набора данных. [SFPE]

**Пожарная нагрузка (*fire load*)** – количество теплоты, которое может выделяться при полном сгорании всех горючих материалов в объеме, включающем облицовку всех граничных поверхностей. [BS 7974]

**Пожарная опасность (*fire hazard*)** – источник потенциальной опасности причинения вреда здоровью человека или нанесения ущерба имуществу в результате пожара. [BS 7974]

**Пожарная опасность (*fire hazard*)** – ситуация, представляющая потенциальную угрозу жизни или здоровью, и/или опасность нанесения материального ущерба вследствие пожара. [PD 7974-7]

**Пожарно-технический анализ (*fire safety engineering*)** – применение научных и инженерных принципов к защите людей, имущества и окружающей среды от пожара. [BS 7974]

**Пожарный отсек (*compartment*)** – здание или часть здания, сконструированные для предотвращения распространения пожара в другую часть или из другой части одного и того же здания или прилегающих к нему зданий. [BS 7974]

**Пожарный риск (*fire risk*)** – произведение ожидаемой вероятности возникновения пожара в условиях заданного технического процесса или состояния в определенный период времени, и ожидаемых последствий или ущерба от пожара. [BS 7974]

**Показательный сценарий пожара (*representative fire scenario*)** – заданный сценарий пожара, выбранный из группы сценариев пожара на основе допущения, что последствия показательного сценария пожара дают реалистичную оценку типичных последствий сценариев в группе (кластере) сценариев пожара. [SFPE]

**Полуколичественные методы (*semiquantitative methods*)** – методы, основанные на способности или необходимости количественного выражения возможности или последствий пожара (-ов). [NFPA 551]

**Помещение (*enclosure*)** – пространство, заданное граничными элементами (со всех сторон). [BS 7974]

**Порог допустимости (*acceptability threshold*)** – количественное значение, полученное из качественных целей или задач пожарной безопасности в целях сравнения с расчетным риском и помощи в оценке вариантов проектирования пожарной безопасности или снижения рисков. [SFPE]

**Последствие (*consequence*)** – результат или результаты события, выраженные в положительных или отрицательных значениях, в количественных или качественных показателях. [NFPA 551, SFPE]

**Последствия (*consequences*)** – степень тяжести последствий в результате какого-либо события. [PD 7974-7]

**Поэтапная эвакуация (*phased evacuation*)** – процесс, при котором в первую очередь осуществляется эвакуация людей с ограниченного количества этажей (обычно этажа, где идет пожар и этажа над ним), а с остальных этажей – по мере необходимости. [BS 7974]

**Прецизионность (*precision*)** – величина неустойчивости или неопределенности, связанной с конкретным значением данных. [SFPE]

**Принцип ALARP: минимальный практически приемлемый риск (*ALARP, As Low As Reasonably Practicable*)** – порог допустимости риска, основанный на принципе снижения риска вплоть до того момента, когда принятие дополнительных мер по снижению риска, будучи технически осуществимым, будет признано несоразмерно затратным. [SFPE]

**Принцип ALARP: минимальный практически приемлемый риск (*ALARP, As Low As Reasonably Practicable*)** – ситуация, при которой предпринимаются все разумные меры по снижению рисков в допус-

мых пределах до момента, когда затраты на его снижение непропорционально высоки по сравнению с ожидаемым повышением уровня безопасности. [PD 7974-7]

**Причина отказа (*failure cause*)** – обстоятельства при проектировании, производстве или эксплуатации, которые привели к отказу. [PD 7974-7]

**Пробный противопожарный проект (*trial fire safety design*)** – комплекс мер противопожарной защиты, который может отвечать требуемым целям противопожарной защиты в рамках конкретного здания. [BS 7974]

**Протяженность пути эвакуации (*travel distance*)** – фактическое расстояние, которое необходимо пройти от любой точки в здании до ближайшего выхода, с учетом расположения стен, перегородок и соединительных элементов. [BS 7974]

**Пути эвакуации (*means of escape*)** – безопасные пути для перемещения людей из любой точки здания в безопасную зону. [BS 7974]

**Разнообразие (*diversity*)** – одинаковое выполнение функции двумя или более независимыми и разными способами. [PD 7974-7]

**Распределение вероятностей (*probability distribution*)** – математическая функция, выражающая зависимость вероятности события от значения случайной переменной. [PD 7974-7]

**Расчетный пожар (*design fire*)** – количественное выражение описания пожара, исходя из сценария пожара. При проведении оценки пожарного риска он применяется для оценивания последствий сценария пожара. [SFPE]

**Расчетный сценарий пожара (*design fire scenario*)** – сценарий пожара, используемый для анализа проекта. [SFPE]

**Результат (*outcome*)** – результат последовательности событий. [PD 7974-7]

**Риск (*risk*)** – вероятность возникновения опасности причинения ущерба и степень тяжести ущерба. [PD 7974-7]

**Риск (*risk*)** – возможность развития нежелательных неблагоприятных последствий с учетом сценариев, связанных с ними частот или вероятностей и последствий. [SFPE]

**Риск (*risk*)** – парные вероятности или последствия вероятных нежелательных событий, связанных с данным зданием или процессом. [NFPA 551]

**Риск для жизни и здоровья (*risk to life and health*)** – предполагаемая тяжесть травм или количество человеческих жертв при пожаре, выраженные в показателях вероятности как результат:

- предполагаемой частоты возникновения нежелательного события при определенной технической эксплуатации или состоянии; и
- опасности для жизни и здоровья. [PD 7974-7]

**Руководство (*guide*)** – документ, являющийся рекомендательным или справочным по своей сути, содержащий необязательные положения. Руководство может включать в себя обязательные положения, например, о случаях его применения, но в целом как документ оно не подлежит утверждению в качестве закона. [NFPA 551]

**Руководство по пожарной безопасности (*fire safety manual*)** – документ, в котором содержится вся необходимая информация для эффективного управления пожарной безопасностью в здании. [BS 7974]

**Событие (*event*)** – возникновение определенной совокупности обстоятельств, будь то определенных или неопределенных, единичных или множественных. [NFPA 551, SFPE]

**Событие (*event*)** – происходящее или уже произошедшее явление, состоящее из нескольких взаимоисключающих событий. [PD 7974-7]

**Социальный риск (*societal risk*)** – риск, имеющий отношение к населению в целом, а не к конкретному человеку. [SFPE]

**Социальный риск (*societal risk*)** – соотношение между частотой возникновения событий и числом людей в данной группе, подвергающихся определенной степени опасности причинения вреда здоровью при реализации определенных опасных факторов. [PD 7974-7]

**Способствующий опасный фактор (*enabling hazard*)** – опасный фактор, который способен увеличить тяжесть последствий, возникших в результате начавшегося пожара, позволяя или содействуя росту или распространению пожара, или иным путем увеличивая ущерб, наносимый окружающей среде пожаром. [SFPE]

**Средняя наработка на отказ (*MTBF, Mean Time Between Failures*)** – отношение суммарного времени функционирования оборудования к числу отказов. [PD 7974-7]

**Стохастическая модель (*stochastic model*)** – методология оценки результата событий в зависимости от времени, выраженного в показателях вероятности. [PD 7974-7]

**Структура сценариев (*scenario structure*)** – совокупность групп (кластеров) сценариев, каждая из которых имеет свой собственный показательный сценарий, в которой группы сценариев не совпадают и вместе включают в себя все сценарии, представляющие интерес. [SFPE]

**Сценарий (*scenario*)** – совокупность обстоятельств и/или последовательность событий при пожаре, которая является правдоподобной и в достаточной степени предсказуемой. [PD 7974-7, SFPE]

**Сценарий пожара (*fire scenario*)** – совокупность условий и событий, описывающих развитие пожара, распространение продуктов горения, реакции людей и воздействие продуктов горения. [NFPA 551]

**Сценарий пожара (*fire scenario*)** – выбранная в качестве примера совокупность условий, определяющая развитие пожара и распространение продуктов горения по всему зданию или его части. [BS 7974]

**Сценарий пожара (*fire scenario*)** – качественное описание течения пожара с учетом времени, определяющее основные события, которые характеризуют пожар и отличают его от других возможных пожаров. [SFPE]

**Теплота сгорания (*calorific value*)** – общее количество теплоты, выделяющейся при окислении единицы количества топлива (измеряемой при температуре 25°C и атмосферном давлении), в процессе его полного сгорания в кислороде в заданных условиях испытаний. [BS 7974]

**Технико-экономический анализ (*cost-benefit analysis*)** – утвержденная количественная процедура сравнения затрат и выгод предложенного проекта или действия в соответствии с набором предустановленных правил. [SFPE]

**Техническое обслуживание (*maintenance*)** – совокупность всех технических и организационных мероприятий, включая надзор, направленных на поддержание объекта в надлежащем для выполнения его требуемой функции состоянии, или приведение его в таковое. [PD 7974-7]

**Тление (*smouldering*)** – горение материала без видимого пламени или света. [BS 7974]

**Точность данных (*accuracy of data*)** – характеристика набора данных с учетом прецизионности и погрешности измерения, включая повторяемость (подсчеты на основе одного и того же источника в два момента времени) и воспроизводимость (подсчеты на основе множественных источников). [SFPE]

**Управление (*management*)** – лицо или группа лиц, осуществляющие централизованное управление зданием с прилегающей территорией и находящимися там людьми, и несущие ответственность по праву, например, в качестве владельца, либо в результате делегирования полномочий (установленных законом обязанностей). [BS 7974]

**Условная вероятность (*conditional probability*)** – вероятность события, обусловленная возникновением предшествующего события. [PD 7974-7, SFPE]

**Утвержденный (*approved*)** – допустимый с позиции компетентного органа. [NFPA 551]

**Уязвимость, восприимчивость к опасному фактору, незащищенность (*vulnerability hazard*)** – опасность, при которой возможность чрезвычайно крупных последствий возникает из-за чрезмерно высокой восприимчивости к воздействию (т.е. более высокой по сравнению с обычным уровнем восприимчивости к вредному воздействию) или чрезмерно крупному масштабу воздействия. [SFPE]

**Фактическое время безопасной эвакуации (*ASET, Available Safe Egress Time*)** – расчетный период времени между началом пожара и моментом превышения критериев допустимости в рассматриваемом месте здания. [BS 7974]

**Функционально-ориентированное проектирование (*performance-based design*)** – инженерный подход к противопожарному проектированию, основанный на (1) установленных целях и задачах пожарной безопасности; (2) детерминированном и вероятностном анализе сценариев пожара; и (3) качественной оценке вариантов проектирования в соответствии с целями и задачами пожарной безопасности с использованием принятых инженерных средств, методологий и критериев допустимости. [SFPE]

**Характер отказа (*failure mode*)** – альтернативные обстоятельства, которые могут привести к отказу. [SFPE]

**Характер отказа (*failure mode*)** – прогнозируемые или наблюдающиеся последствия причины отказа определенного элемента в зависимости от условий эксплуатации на момент отказа. [PD 7974-7]

**Характеристика здания (*building characteristics*)** – подробное описание здания (например, план и геометрия, подъездные пути и пути эвакуации, тип и материалы конструкции, содержимое и отделка, инженерные коммуникации, а также системы и особенности пожарной безопасности), как правило, в соответствии с техническими условиями на проектирование, в форме подходящей и достаточной для использования со сценарием пожара в ходе оценки последствий этого сценария для здания. [SFPE]

**Характеристика пожара (*fire characteristics*)** – набор данных, обеспечивающих описание пожара (также см. термин «расчетный пожар»). [SFPE]

**Цель пожарной безопасности (*fire safety goal*)** – искомый результат общей пожарной безопасности, выраженный в качественных параметрах. [SFPE]

**Частота (*frequency*)** – вероятность возникновения события за какой-либо промежуток времени. [PD 7974-7]

**Частота (*frequency*)** – количество возникновений события в течение заданного периода времени. [SFPE]

**Частота (*frequency*)** – среднее количество повторений события в течение заданного периода времени. [NFPA 551]

**Эксплуатационная готовность (*availability*)** – готовность системы выполнять требуемую функцию при заданных условиях в заданный момент времени или в течение установленного периода времени при наличии необходимых внешних ресурсов. [PD 7974-7, SFPE]

**Экстремальное значение (*extreme value*)** – статистическая методология, предметом которой является распределение вероятностей больших и малых значений. [PD 7974-7]

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

<b><i>Acceptability threshold</i></b>	порог допустимости
<b><i>Acceptable risk</i></b>	допустимый риск
<b><i>Acceptance criteria</i></b>	критерии допустимости
<b><i>Accuracy of data</i></b>	точность данных
<b><i>ALARP</i></b>	принцип ALARP: минимальный практически приемлемый риск
<b><i>Approvals body</i></b>	надзорный орган
<b><i>Approved</i></b>	утвержденный
<b><i>ASET</i></b>	фактическое время безопасной эвакуации
<b><i>Assessment</i></b>	оценка
<b><i>Authority having jurisdiction</i></b>	компетентный орган
<b><i>Availability</i></b>	эксплуатационная готовность
<b><i>Bias</i></b>	погрешность измерения
<b><i>Building characteristics</i></b>	характеристика здания
<b><i>Calorific value</i></b>	теплота сгорания
<b><i>Common mode failure</i></b>	взаимосвязанный отказ
<b><i>Compartment</i></b>	пожарный отсек
<b><i>Conditional probability</i></b>	условная вероятность
<b><i>Consequence</i></b>	последствие
<b><i>Cost-benefit analysis</i></b>	технико-экономический анализ
<b><i>De minimis risk</i></b>	малозначительный риск
<b><i>Design fire scenario</i></b>	расчетный сценарий пожара
<b><i>Design fire</i></b>	расчетный пожар
<b><i>Deterministic model</i></b>	детерминированная модель
<b><i>Deterministic study</i></b>	детерминированный анализ
<b><i>Deterministic</i></b>	детерминированный
<b><i>Diversity</i></b>	разнообразие
<b><i>Enabling hazard</i></b>	способствующий опасный фактор
<b><i>Enclosure</i></b>	помещение
<b><i>Escape time</i></b>	время выхода
<b><i>Evacuation time</i></b>	время эвакуации
<b><i>Event</i></b>	событие

<b><i>Exit</i></b>	выход
<b><i>Extreme value</i></b>	экстремальное значение
<b><i>Failure cause</i></b>	причина отказа
<b><i>Failure mechanism</i></b>	механизм отказов
<b><i>Failure mode</i></b>	характер отказа
<b><i>Failure modes and effects analysis</i></b>	анализ характеров и последствий отказов
<b><i>Fault tree analysis</i></b>	анализ дерева отказов
<b><i>Fire characteristics</i></b>	характеристика пожара
<b><i>Fire hazard</i></b>	пожарная опасность
<b><i>Fire load density</i></b>	плотность пожарной нагрузки
<b><i>Fire load</i></b>	пожарная нагрузка
<b><i>Fire protection engineering design brief</i></b>	краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты
<b><i>Fire risk assessment concept report</i></b>	отчет о концепции оценки пожарного риска
<b><i>Fire risk assessment</i></b>	оценка пожарного риска
<b><i>Fire risk</i></b>	пожарный риск
<b><i>Fire safety engineer</i></b>	инженер по пожарной безопасности
<b><i>Fire safety engineering</i></b>	пожарно-технический анализ
<b><i>Fire safety goal</i></b>	цель пожарной безопасности
<b><i>Fire safety manual</i></b>	руководство по пожарной безопасности
<b><i>Fire scenario cluster</i></b>	группа (кластер) сценариев пожара
<b><i>Fire scenario</i></b>	сценарий пожара
<b><i>Flashover</i></b>	вспышка
<b><i>Frequency</i></b>	частота
<b><i>Guide</i></b>	руководство
<b><i>Hazard</i></b>	опасность
<b><i>HAZOP</i></b>	исследование опасности и работоспособности
<b><i>Individual risk</i></b>	индивидуальный риск
<b><i>Initiating event</i></b>	инициирующее событие
<b><i>Initiating hazard</i></b>	инициирующий опасный фактор
<b><i>Labeled</i></b>	маркированный
<b><i>Likelihood</i></b>	возможность
<b><i>Listed</i></b>	включенный в перечень
<b><i>Maintenance</i></b>	техническое обслуживание

<b><i>Management</i></b>	управление
<b><i>Means of escape</i></b>	пути эвакуации
<b><i>MTBF</i></b>	средняя наработка на отказ
<b><i>Method</i></b>	метод
<b><i>Model</i></b>	модель
<b><i>Objective</i></b>	задача
<b><i>Outcome</i></b>	результат
<b><i>Performance-based design</i></b>	функционально-ориентированное проектирование
<b><i>Phased evacuation</i></b>	поэтапная эвакуация
<b><i>Place of safety</i></b>	безопасная зона
<b><i>Precision</i></b>	прецизионность
<b><i>Pre-movement time</i></b>	время до начала движения
<b><i>Probabilistic analysis</i></b>	вероятностный анализ
<b><i>Probabilistic model</i></b>	вероятностная модель
<b><i>Probabilistic risk assessment</i></b>	вероятностная оценка риска
<b><i>Probability distribution</i></b>	распределение вероятностей
<b><i>Probability</i></b>	вероятность
<b><i>Redundancy</i></b>	избыточность
<b><i>Reliability</i></b>	надежность
<b><i>Representative fire scenario</i></b>	показательный сценарий пожара
<b><i>Revealed fault</i></b>	выявленная неисправность
<b><i>Risk to life and health</i></b>	риск для жизни и здоровья
<b><i>Risk</i></b>	риск
<b><i>Safety factor</i></b>	коэффициент запаса
<b><i>Safety</i></b>	безопасность
<b><i>Scenario</i></b>	сценарий
<b><i>Scenario structure</i></b>	структура сценария
<b><i>Semiquantitative methods</i></b>	полуколичественные методы
<b><i>Smouldering</i></b>	тление
<b><i>Societal risk</i></b>	социальный риск
<b><i>Stakeholder</i></b>	заинтересованное лицо
<b><i>Stochastic model</i></b>	стохастическая модель
<b><i>Tenability criteria</i></b>	критерии допустимости

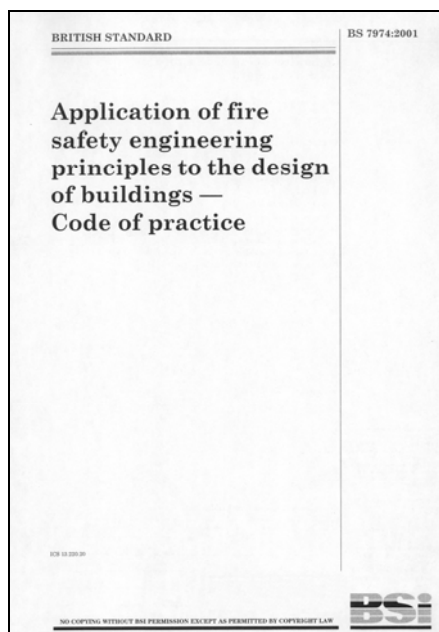
<b><i>Tolerable risk</i></b>	допустимый (приемлемый) риск
<b><i>Travel distance</i></b>	протяженность пути эвакуации
<b><i>Travel time</i></b>	время движения
<b><i>Trial fire safety design</i></b>	пробный противопожарный проект
<b><i>Validation</i></b>	валидация
<b><i>Verification</i></b>	верификация
<b><i>Vulnerability hazard</i></b>	уязвимость, восприимчивость, незащищенность



## ВЫДЕРЖКИ ИЗ BS 7974

**BS 7974. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил»**

***BS 7974. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice***



Издательство: Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания

British Standards Institution  
(BSI), London, UK

ISBN: 0 580 38447 0

Формат: 29,7 x 21 см

Кол-во страниц: 28

Год издания: 2001

# **BS 7974. «ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ. СВОД ПРАВИЛ»**

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной главе представлены выдержки из документа BS 7974:2001 «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил» (*BS 7974:2001 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice*) [1]. Информация изложена на основе фрагментарного перевода данного документа. В начале приводится оглавление в целях ознакомления читателей со структурой документа. Приведенные в данном обзоре части выделены в оглавлении жирным шрифтом.

- 1. Область применения**
- 2. Нормативные ссылки
- 3. Термины и определения**
- 4. Применение**
  - 4.1 Общие положения**
  - 4.2 Подсистемы**
  - 4.3 Документы PD 7974-0 и PD 7974-7**
- 5. Документирование и предоставление результатов**
  - 5.1 Общие положения**
  - 5.2 Содержание**
  - 5.3 Краткий отчет для владельца/пользователя здания**
  - 5.4 Аудит**
- 6. Качественная оценка проекта (QDR)**
  - 6.1 Общие положения**
  - 6.2 Специалисты, осуществляющие качественную оценку проекта (QDR)**
  - 6.3 Сроки проведения качественной оценки проекта (QDR)**
  - 6.4 Процедура проведения качественной оценки проекта (QDR)**
  - 6.5 Документально зафиксированные результаты качественной оценки проекта (QDR)**
- 7. Количественный анализ**
  - 7.1 Общие положения**
  - 7.2 Детерминированный подход**
  - 7.3 Вероятностный подход**
- 8. Оценка выполнения критериев**
  - 8.1 Общие положения**
  - 8.2 Детерминированные критерии**
  - 8.3 Вероятностный критерий (риск)**
  - 8.4 Сравнительные критерии**
  - 8.5 Коэффициенты запаса и неопределенность**
  - 8.6 Анализ чувствительности**

Библиография

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий британский стандарт подготовлен Техническим комитетом FSH/24/1 взамен документов DD 240-1:1997 и DD 240-2:1997, которые отменены 31 декабря 2002 года. Дополнительные рекомендации по пожарно-техническому анализу, подсистемам и оценке риска представлены в серии документов (PD 7974-0 [2], PD 7974-1 [3], PD 7974-2 [4], PD 7974-3 [5], PD 7974-4 [6], PD 7974-5 [7], PD 7974-6 [8] и PD 7974-7 [9]).

В стандарте BS 7974 представлена структура для применения инженерных принципов пожарной безопасности к проектированию зданий. Он сопровождается серией документов PD 7974, содержащих рекомендации и информацию о том, как выполнять подробный анализ конкретных аспектов противопожарного проектирования зданий. В серии документов PD 7974 (части 0-7) информация представлена по состоянию на текущий момент и предполагается, что в них будут вноситься изменения по мере появления новых теорий, методов расчета и/или данных. Структура серии документов PD 7974 выглядит следующим образом:

- Часть 0. Руководство по структуре проектирования и методам пожарно-технического анализа;
- Часть 1. (Подсистема 1) Возникновение и развитие пожара внутри помещения, где произошло возгорание;
- Часть 2. (Подсистема 2) Распространение дыма и токсичных газов внутри и за пределы помещения, где произошло возгорание;
- Часть 3. (Подсистема 3) Поведение конструкции и распространение пожара за пределы помещения, где произошло возгорание;
- Часть 4. (Подсистема 4) Обнаружение пожара и активация систем противопожарной защиты;
- Часть 5. (Подсистема 5) Работа пожарных подразделений;
- Часть 6. (Подсистема 6) Эвакуация;
- Часть 7. Вероятностная оценка пожарного риска.

Настоящий свод правил может быть использован для выявления и определения одного или нескольких аспектов проекта пожарной безопасности, требующих рассмотрения в процессе пожарно-технического анализа. Затем для установления конкретных критериев допустимости и проведения подробного анализа можно использовать соответствующую (-ие) часть (-и) серии документов PD 7974.

В качестве свода правил настоящий британский стандарт является руководством и носит рекомендательный характер. Его не следует цитировать в качестве норм, и необходимо уделить особое внимание тому, чтобы утверждения о соответствии настоящему своду правил не приводили к неверному истолкованию.

При составлении настоящего британского стандарта предполагается, что исполнение его положений поручается должным образом квалифицированным и компетентным специалистам.

Ответственность за надлежащее применение британских стандартов несут пользователи.

Соответствие требованиям британского стандарта не освобождает от правовых обязательств.

Настоящий свод правил предоставляет структуру для разработки рациональной методологии проектирования зданий с использованием пожарно-технического анализа, основанного на применении научно-технических принципов для защиты людей, имущества и окружающей среды от пожара.

Для большинства зданий могут применяться предписывающие рекомендации по проектированию, содержащиеся в существующих нормах и руководствах, указанных в стандарте BS 5588-0 [10], в то время как настоящий свод правил может быть использован для разработки и оценки противопожарных проектных решений.

Пожарно-технический анализ, учитывающий все аспекты пожарной безопасности, зачастую может предложить более фундаментальное и экономичное решение, чем предписывающие подходы (см. BS 5588-0 [10]). В некоторых случаях он является единственным практически осуществимым средством достижения удовлетворительного уровня пожарной безопасности в крупных и сложных зданиях.

Пожарно-технический анализ может иметь много преимуществ. Использование настоящего свода правил облегчает выполнение пожарно-технического анализа, а именно:

- а) обеспечивает проектировщика упорядоченным подходом к проектированию пожарной безопасности;
- б) позволяет сравнить уровни безопасности альтернативных проектов;
- в) предоставляет основу для выбора соответствующих систем противопожарной защиты;
- г) предоставляет возможности для инновационного проектирования;
- д) предоставляет информацию по управлению пожарной безопасностью в здании.

Пожар является чрезвычайно сложным явлением, и в имеющихся о нем знаниях по-прежнему существуют пробелы. Целью настоящего свода правил является предоставление структуры для гибкого, но в то же время упорядоченного подхода к проектированию пожарной безопасности, оценку которого легко смогут осуществить представители надзорных органов.

Настоящий свод правил сопровождается серией документов, которые содержат рекомендации и информацию по выполнению подробного анализа конкретных аспектов пожарной безопасности, что не исключает использование соответствующих методов и данных из других источников. На рис. 1 показана структура свода правил и серии документов PD. Настоящий свод правил:

- предоставляет средства для определения допустимых уровней пожарной безопасности на экономически выгодной основе и без использования лишних ограничений на аспекты проектирования здания;
- предоставляет руководство по проектированию и оценке мер пожарной безопасности в зданиях;

- обеспечивает структурированный подход к оценке эффективности всей системы пожарной безопасности в достижении целей проекта;
- описывает структуру и основные принципы проведения пожарно-технического анализа;
- кратко излагает принципы применения пожарно-технического анализа при противопожарном проектировании конкретных зданий;
- может быть использован для выявления и определения одной или нескольких задач противопожарного проектирования, подлежащих рассмотрению с помощью пожарно-технического анализа;

ПРИМЕЧАНИЕ. Для установления характерных критериев допустимости и проведения подробного анализа может быть использована соответствующая (-ие) часть (-и) документа PD 7974.

- предоставляет альтернативные подходы к существующим нормам и руководствам по пожарной безопасности, а также позволяет оценить результат отступления от более предписывающих норм; и
- признает, что цели проекта могут быть достигнуты при использовании ряда альтернативных и дополнительных стратегий противопожарной защиты.

Настоящий свод правил представляет структуру для реализации инженерного подхода к обеспечению пожарной безопасности в зданиях. В нем приведены правила и рекомендации по применению научных и инженерных принципов для защиты людей, имущества и окружающей среды от пожара. Настоящий свод правил применяется как при проектировании новых зданий, так и при оценке уже существующих зданий.

Свод правил не содержит отдельных рекомендаций для зданий, используемых для бестарного хранения грузов или переработки легковоспламеняющихся жидкостей или взрывчатых веществ. Риски, присущие зданиям подобного типа, требуют особого рассмотрения, которое не входит в рамки настоящего документа.

BS 7974 Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил (Структура документов)						
Документы PD 7974 (Руководства, содержащие дополнительную информацию и рекомендации)						
PD 7974-0 Руководство по структуре проектирования и методам пожарно-технического анализа  Методология проектирования Качественная оценка проекта (QDR) Сравнение с критериями допустимости Документирование и предоставление результатов	PD 7974-1 (Подсистема 1) Возникновение и развитие пожара внутри помещения, где произошло возгорание  Методология проектирования Критерии допустимости Анализ Данные Библиография	PD 7974-2 (Подсистема 2) Распространение дыма и токсичных газов внутри и за пределы помещения, где произошло возгорание  Методология проектирования Критерии допустимости Анализ Данные Библиография	PD 7974-3 (Подсистема 3) Поведение конструкции и распространение пожара за пределы помещения, где произошло возгорание  Методология проектирования Критерии допустимости Анализ Данные Библиография	PD 7974-4 (Подсистема 4) Обнаружение пожара и активация систем противопожарной защиты  Методология проектирования Критерии допустимости Анализ Данные Библиография	PD 7974-5 (Подсистема 5) Работа пожарных подразделений  Методология проектирования Критерии допустимости Анализ Данные Библиография	PD 7974-6 (Подсистема 6) Эвакуация  Методология проектирования Критерии допустимости Анализ Данные Библиография
					PD 7974-7 Вероятностная оценка пожарного риска  Методология проектирования Критерии допустимости Анализ Данные Библиография	

Рис. 1 Структура свода правил BS 7974 и серии документов PD 7974

### 3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

**3.1 Надзорный орган (*approvals body*)** – организация, в чьей компетенции находится рассмотрение пожарной безопасности зданий.

Примечание. В качестве представителей надзорных органов могут выступать: местная строительная инспекция, инспектора по пожарному надзору и управление пожарной безопасности.

**3.2 Фактическое время безопасной эвакуации (*Available Safe Egress Time, ASET*)** – расчетный период времени между началом пожара и моментом превышения критериев допустимости в рассматриваемом месте здания.

**3.3 Теплота сгорания (*calorific value*)** – общее количество теплоты, выделяющейся при окислении единицы количества топлива (измеряемой при температуре 25°C и атмосферном давлении), в процессе его полного сгорания в кислороде в заданных условиях испытаний.

Примечание: в условиях реального пожара высвобождается только часть этой энергии.

**3.4 Пожарный отсек (*compartment*)** – здание или часть здания, сконструированные для предотвращения распространения пожара в другую часть или из другой части одного и того же здания или прилегающих к нему зданий.

**3.5 Время выхода (*escape time*)** – расчетный период времени от момента возгорания до момента, когда все лица, находящиеся в конкретной части здания, доберутся до безопасной зоны.

**3.6 Детерминированный анализ (*deterministic study*)** – методология, основанная на физических закономерностях, выведенных из научных теорий и практических результатов, которые для заданного набора исходных условий всегда дают один и тот же результат.

**3.7 Помещение (*enclosure*)** – пространство, заданное граничными элементами (со всех сторон).

**3.8 Время эвакуации (*evacuation time*)** – период времени от момента оповещения о пожаре до момента, когда все лица, находящиеся в здании, доберутся до безопасной зоны.

**3.9 Выход (*exit*)** – дверной проем или другой проход, открывающий доступ к безопасной зоне.

**3.10 Пожарная опасность (*fire hazard*)** – источник потенциальной опасности причинения вреда здоровью человека или нанесения ущерба имуществу в результате пожара.

**3.11 Пожарная нагрузка (*fire load*)** – количество теплоты, которое может выделяться при полном сгорании всех горючих материалов в объеме, включающем облицовку всех граничных поверхностей.

**3.12 Плотность пожарной нагрузки (*fire load density*)** – отношение пожарной нагрузки к площади помещения.

**3.13 Пожарный риск (*fire risk*)** – произведение ожидаемой вероятности возникновения пожара в условиях заданного технического процесса или состояния в определенный период времени, и ожидаемых последствий или ущерба от пожара.

**3.14 Инженер по пожарной безопасности (*fire safety engineer*)** – лицо, обладающее соответствующей квалификацией и опытом в области пожарно-технического анализа (также см. предисловие).

**3.15 Пожарно-технический анализ (*fire safety engineering*)** – применение научных и инженерных принципов к защите людей, имущества и окружающей среды от пожара.

**3.16 Руководство по пожарной безопасности (*fire safety manual*)** – документ, в котором содержится вся необходимая информация для эффективного управления пожарной безопасностью в здании.

**3.17 Сценарий пожара (*fire scenario*)** – выбранная в качестве примера совокупность условий, определяющая развитие пожара и распространение продуктов горения по всему зданию или его части.

**3.18 Вспышка (*flashover*)** – внезапный переход от локального пожара к воспламенению всех подвергающихся воздействию горючих поверхностей в пределах помещения, где произошло возгорание.

**3.19 Управление (*management*)** – лицо или группа лиц, осуществляющие централизованное управление зданием с прилегающей территорией и находящимися там людьми, и несущие ответственность по праву,

например, в качестве владельца, либо в результате делегирования полномочий (установленных законом обязанностей).

**3.20 Пути эвакуации (*means of escape*)** – безопасные пути для перемещения людей из любой точки здания в безопасную зону.

**3.21 Поэтапная эвакуация (*phased evacuation*)** – процесс, при котором в первую очередь осуществляется эвакуация людей с ограниченного количества этажей (обычно этажа, где идет пожар и этажа над ним), а с остальных этажей — по мере необходимости.

**3.22 Безопасная зона (*place of safety*)** – заранее установленная зона, в которой люди защищены от непосредственной опасности воздействия пожара.

Примечание: безопасная зона может находиться как внутри, так и снаружи здания, в зависимости от стратегии эвакуации.

**3.23 Время до начала движения (*pre-movement time*)** – период времени от момента оповещения о пожаре (сигналом тревоги или при непосредственном появлении дыма или огня) до начала движения в сторону выхода.

**3.24 Вероятностная оценка риска (*probabilistic risk assessment*)** – методология статистического определения вероятности возникновения и результата событий.

**3.25 Тление (*smouldering*)** – горение материала без видимого пламени или света.

**3.26 Критерии допустимости (*tenability criteria*)** – предельно допустимое воздействие опасных факторов пожара, которое может быть выдержано без поражения.

**3.27 Протяженность пути эвакуации (*travel distance*)** – фактическое расстояние, которое необходимо пройти от любой точки в здании до ближайшего выхода, с учетом расположения стен, перегородок и соединительных элементов.

**3.28 Время движения (*travel time*)** – время от начала движения, которое требуется для перемещения всех лиц, находящихся в конкретной части здания, в безопасную зону.

**3.29 Пробный противопожарный проект (*trial fire safety design*)** – комплекс мер противопожарной защиты, который может отвечать требуемым целям противопожарной защиты в рамках конкретного здания.

## 4. ПРИМЕНЕНИЕ

### 4.1 Общие положения

Настоящий свод правил представляет структуру для реализации инженерного подхода к обеспечению пожарной безопасности и может применяться как при проектировании новых зданий, так и при оценке уже существующих, а также для подтверждения того, что обязательные и/или финансовые требования могут быть удовлетворены. Использование данной структуры не является гарантией того, что итоговый проект будет полностью отвечать требованиям. Перед принятием окончательных решений по проекту пожарной безопасности следует обратиться в надзорные органы.

Инженерный подход может быть использован совместно с другими руководствами (см. BS 5588-0), а также для обоснования и сравнения альтернативных подходов с теми, что описаны в других руководствах.

Структуру для реализации инженерного подхода к обеспечению пожарной безопасности, описанную в настоящем своде правил, следует применять, используя следующие три этапа (см. рис. 2).

#### а) Качественная оценка проекта (QDR)

На данном этапе определяется содержание и цели проекта по пожарной безопасности, устанавливаются функциональные показатели, предлагается одно или несколько проектных решений. Также осуществляется сбор ключевой информации для оценки проектных решений в процессе количественного анализа.

#### б) Количественный анализ

На данном этапе используются инженерные методы для оценки потенциальных решений, определенных при качественной оценке проекта (QDR). Количественный анализ может быть временным анализом с использованием соответствующих подсистем (см. п.4.2) для отражения влияния пожара на людей и имущество на разных стадиях его развития. Кроме того, может быть использован стационарный анализ и анализ предельных значений.

#### в) Оценка выполнения критериев

На данном этапе результаты количественного анализа сравниваются с критериями допустимости, определенными в ходе качественной оценки проекта (QDR), чтобы проанализировать допустимость предложенных решений.

Для достаточного обоснования проекта пожарной безопасности необходимо проработать все три обозначенные этапа. По каждому из этапов должна быть составлена полная документация, доступная и понятная третьим лицам (надзорным органам, страховым компаниям, владельцу/пользователям зданий).

### 4.2 Подсистемы

Чтобы упростить оценку проекта пожарной безопасности, процесс пожарно-технического анализа следует разделить на 6 подсистем. Подсистемы могут использоваться как по отдельности для рассмотрения конкретных вопросов, так и вместе для работы со всеми основными аспектами пожарной безопасности.

Примечание. На рис. 3 отражены некоторые возможные взаимодействия между подсистемами.

Подсистемы должны использоваться следующим образом:

#### а) SS1. Возникновение и развитие пожара внутри помещения, где произошло возгорание (см. PD 7974-1 [3]).

SS1 дает рекомендации по оценке роста и/или мощности пожара в помещении, принимая во внимание четыре главные стадии развития пожара:

- 1) состояние до вспышки (включая ранний рост и развитие пожара);
- 2) вспышка;
- 3) полностью развившийся пожар (когда горят все горючие материалы);
- 4) затухание.

#### б) SS2. Распространение дыма и токсичных газов внутри и за пределы помещения, где произошло возгорание (см. PD 7974-2 [4]).

SS2 дает рекомендации по оценке:

- 1) распространения дыма и токсичных газов в помещении возгорания и за его пределами;
- 2) особенностей дыма и токсичных газов в определенном месте.

#### в) SS3. Поведение конструкции и распространение пожара за пределы помещения, где произошло возгорание (см. PD 7974-3 [5]).

SS3 дает рекомендации по оценке:

- 1) тяжести пожара, выраженной в показателях температуры и теплового потока в помещении; и
- 2) способности элементов, формирующих помещение, непосредственно либо частично, противостоять воздействию преобладающей тяжести пожара.

#### г) SS4. Обнаружение пожара и активация систем противопожарной защиты см. PD 7974-4 [6].

SS4 дает рекомендации по расчету следующих показателей с учетом времени:

- 1) обнаружение пожара;
- 2) активация пожарной сигнализации и систем противопожарной защиты, например, спринклеров, вентиляционных дымовытяжных систем, рольставень и т.д.
- 3) оповещение пожарного подразделения.

#### д) SS5. Работа пожарных подразделений (см. PD 7974-5 [7])



SS5 дает рекомендации по оценке степени наличия средств пожаротушения у пожарного подразделения, включая работу собственной или частных пожарных команд, а в особенности следующих показателей:

- 1) временной интервал между сигналом в пожарную часть и прибытием пожарного подразделения;
- 2) временной интервал между прибытием пожарного подразделения и началом тушения пожара;
- 3) временные интервалы, относящиеся к привлечению всех необходимых дополнительных средств тушения пожара;
- 4) объем средств тушения пожара и их возможности в разные отрезки времени.

е) SS6. Эвакуация (см. PD 7974-6 [8]).

SS6 дает рекомендации по оценке реакции людей на пожар, включая время их эвакуации из любого места в здании. После того как время эвакуации определено, его можно сравнить с результатами из подсистем 1-4 в рамках количественного анализа. В данной подсистеме содержатся критерии допустимости.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Эти подсистемы описаны в различных частях серии документов PD 7974 (с 1 по 6 соответственно), содержащих выборочную информацию и инженерные соотношения (включая информацию об их применении), которые можно использовать при проектировании. Однако, настоящий свод правил допускает использование альтернативной информации.

Все 6 подсистем могут быть использованы вместе для проведения временного пожарно-технического анализа.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. На рис. 4 приведен пример сравнения временных шкал развития пожара и эвакуации/имущественного ущерба.

#### **4.3 Документы PD 7974-0 и PD 7974-7**

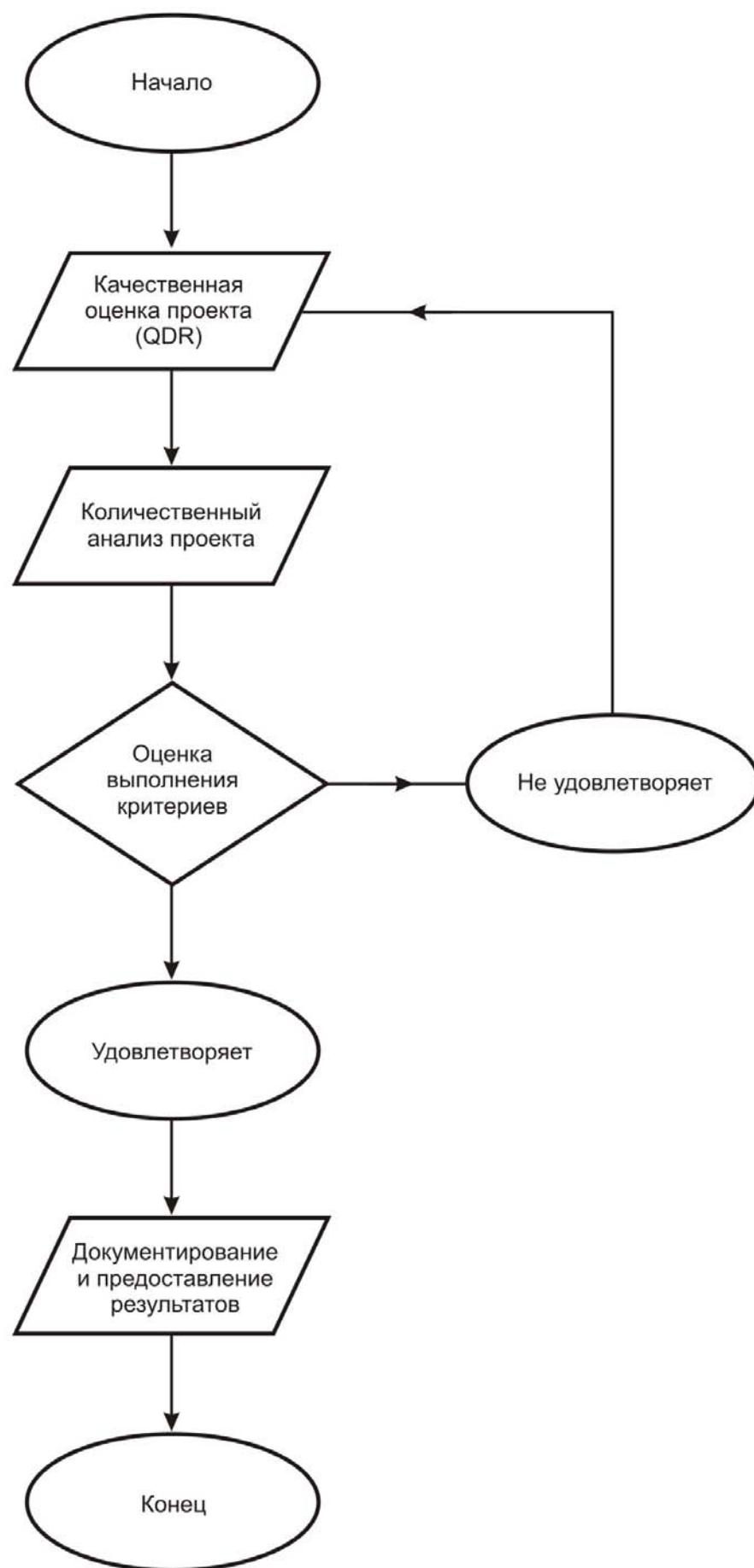
В дополнение к частям 1-6 серии документов PD 7974, в которых идет речь о подсистемах, две другие части (PD 7974-0 [2] и PD 7974-7 [9]) отражают иные аспекты пожарно-технического анализа.

а) PD 7974-0. Руководство по структуре проектирования и методам пожарно-технического анализа. Часть 0 содержит пояснения по применению инженерных принципов к обеспечению пожарной безопасности, включая обзор взаимодействия подсистем, выбор подходящих аналитических подходов и выбор методов.

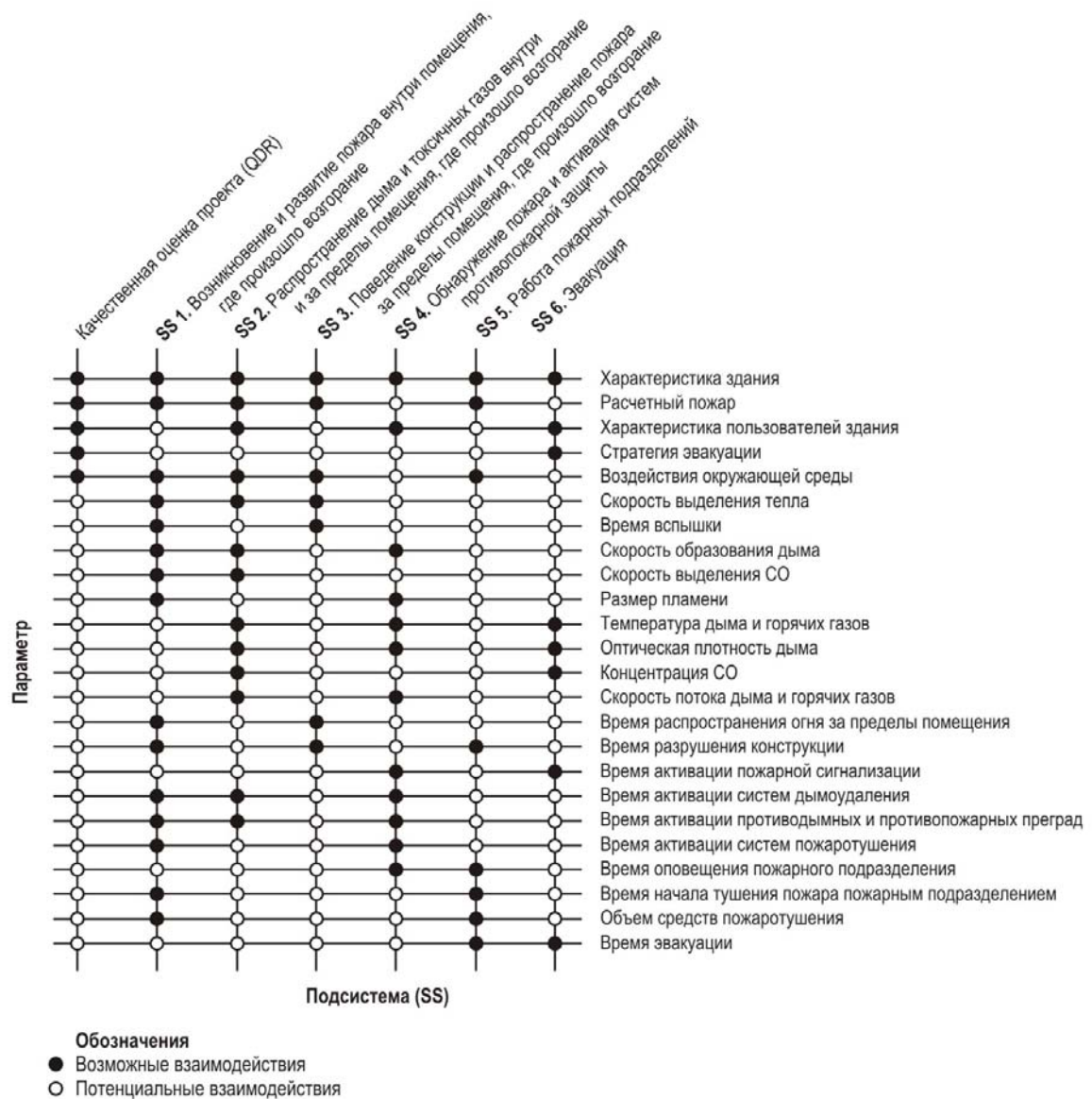
б) PD 7974-7. Вероятностная оценка пожарного риска.

Часть 7 содержит рекомендации по анализу рисков для здания и его содержимого, людей и систем противопожарной защиты с целью определения:

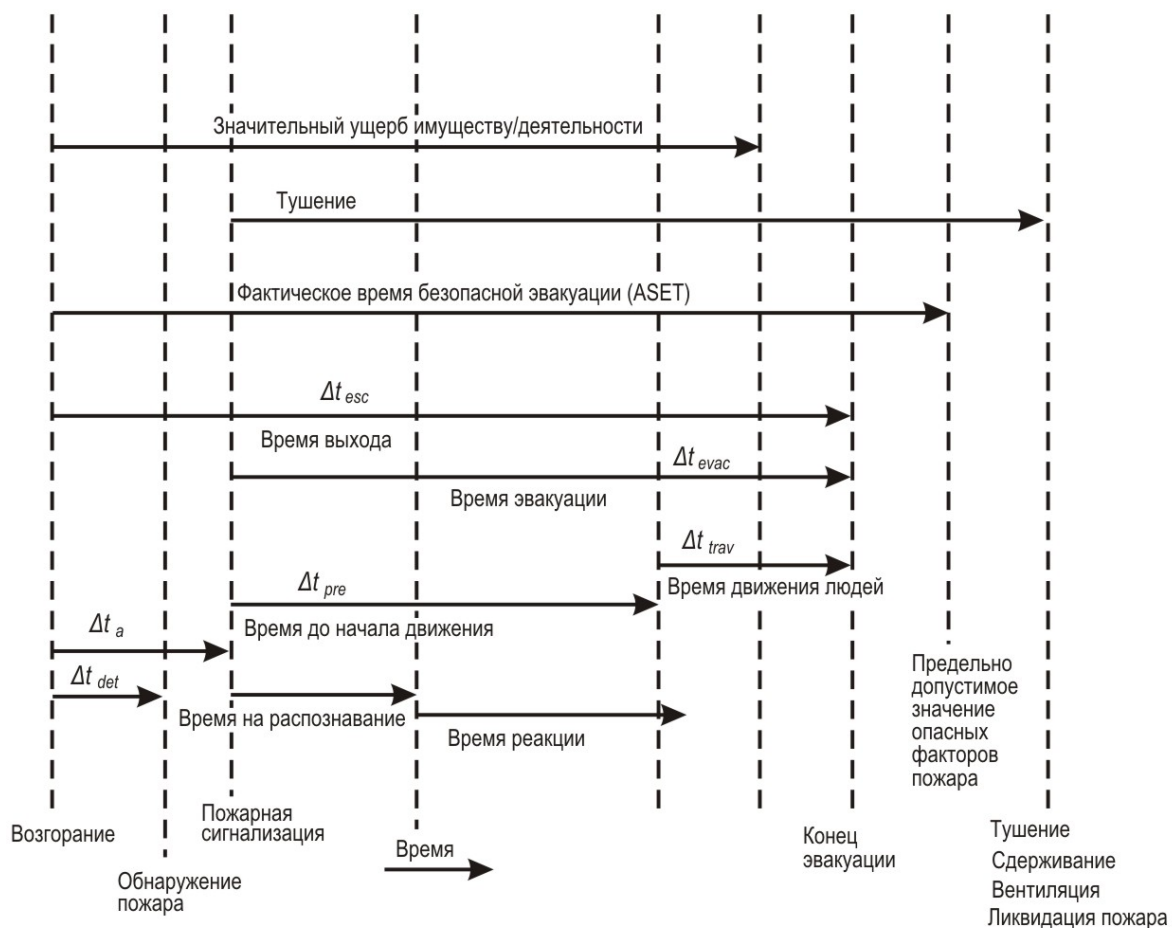
- 1) частоты возникновения определенных сценариев;
- 2) уровня риска, сопряженного с пожаром; и
- 3) дополнительных мер, необходимых для снижения недопустимых рисков.



**Рис. 2 Основной процесс пожарно-технического анализа**



**Рис. 3 Возможные взаимодействия между подсистемами**



**Рис. 4 Пример сравнения временных шкал развития пожара и эвакуации/имущественного ущерба**

## 5. ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ И ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### 5.1 Общие положения

Поскольку большинство зданий, проектируемых в соответствии с настоящим сводом правил, подлежат рассмотрению и утверждению, необходимо, чтобы результаты пожарно-технического анализа и сделанные допущения были представлены в отчете в ясной и понятной форме, а также чтобы в нем были четко определены необходимые противопожарные системы.

Проверяя, соответствует ли проект установленным нормам и руководствам по стандарту BS 5588-0 [10], легко определить, были ли правильно реализованы различные положения этих норм и руководств. Однако, настоящий свод правил предусматривает гибкий подход к проектированию с использованием функционально-ориентированных целей, а не предписывающих решений. Это лишает надзорные органы возможности просто сравнить предлагаемый проект с набором четко определенных рекомендаций. Поэтому результаты пожарно-технического анализа должны быть полностью документально зафиксированы, чтобы их могли оценить третьи лица, например, надзорные органы. В отчете должны быть четко изложены основные принципы проекта, используемые методы расчета и допущения, сделанные в ходе анализа.

### 5.2 Содержание

В отчет должны входить некоторые или все ниже перечисленные данные, в зависимости от вида и содержания пожарно-технического анализа:

- а) цели и задачи анализа;
- б) описание здания;
- в) результаты качественной оценки проекта (QDR):
  - 1) члены группы, осуществляющей качественный анализ проекта;
  - 2) цели пожарной безопасности;
  - 3) результаты анализа пожарной опасности;
  - 4) пробные противопожарные проекты;
  - 5) критерии допустимости;
- б) сценарии пожара для анализа;
- г) анализ:
  - 1) допущения;
  - 2) инженерная оценка;
  - 3) методы расчетов;
  - 4) валидация методологий;
  - 5) анализ чувствительности;
- д) сравнение результатов анализа с критериями допустимости;
- е) выводы:
  - 1) требования противопожарной защиты;
  - 2) требования по управлению;
  - 3) возможные ограничения по использованию;
- ж) ссылки:
  - 1) чертежи;
  - 2) проектная документация;
  - 3) техническая литература.

В отчете должно быть проведено четкое разграничение между безопасностью людей, защитой имущества и защитой окружающей среды, чтобы владелец здания, управляющие и представители надзорного органа могли ясно понимать цель предлагаемых мер.

### 5.3 Краткий отчет для владельца/пользователя здания

Основные принципы, в соответствии с которыми выполнен проект по пожарной безопасности крупного или сложного здания, должны быть указаны в руководстве по пожарной безопасности. Данное руководство должно храниться на территории здания в целях его использования руководством.

Отчет о пожарно-техническом анализе должен быть включен в руководство по пожарной безопасности. Общие правила управления и эксплуатации в руководстве должны быть составлены, основываясь на отчете о пожарно-техническом анализе.

Руководство по пожарной безопасности должно содержать технические требования ко всем аспектам проектирования здания и включать следующее:

- а) декларацию принципов пожарной безопасности;
- б) параметры пожарной безопасности здания;
- в) структуру управления безопасностью;
- г) непрерывный контроль и пожарный аудит;
- д) действия в случае пожара;
- е) пожарные учения;
- ж) эксплуатацию;
- з) плановое техническое обслуживание;

- и) обучение персонала;
- к) службу безопасности;
- л) план действий по спасению имущества и предотвращению ущерба в случае непредвиденных обстоятельств;
- м) ведение учета.

#### **5.4 Аудит**

Для поддержки эффективности противопожарной стратегии следует проводить регулярные и эффективные испытания и техническое обслуживание.

В крупных и сложных зданиях необходимо проводить независимый пожарный аудит. Частота проведения аудита определяется в зависимости от типа и сложности конкретного здания, но не реже, чем один раз в период от одного года до пяти лет.

Аудит должен включать в себя проверку того, что принципы, принятые ответственными за управление пожарной безопасностью лицами, являются целесообразными и эффективно выполняются, что испытания систем и оборудования проходят в соответствии с надлежащими стандартами, и что установленные законодательством обязательства соблюдены.

## **6. КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТА (QDR)**

### **6.1 Общие положения**

Качественная оценка проекта (QDR) представляет собой качественный процесс, который опирается на знания и опыт группы специалистов, и используется для установления входных данных для количественного анализа и критериев допустимости.

### **6.2 Специалисты, осуществляющие качественную оценку проекта (QDR)**

Проведение качественной оценки (QDR) крупных и сложных проектов должна осуществлять исследовательская группа с участием одного или нескольких инженеров по пожарной безопасности, других членов проектной группы, а также представителя заказчика. Подобный состав исследовательской группы гарантирует, что каждый отдельный аспект проекта будет рассмотрен на предмет соблюдения правил противопожарной защиты, и что влиянию предлагаемых решений на другие аспекты проекта будет уделено должное внимание. Также целесообразно включить в данную группу представителей надзорных органов.

Качественная оценка (QDR) сравнительно небольших проектов может проводиться исследовательской группой с меньшим количеством участников, но и они должны соблюдать ту же основную процедуру проведения анализа. Состав группы для проведения качественной оценки (QDR) должен формироваться в зависимости от типа и масштаба проекта, а также от объема проводимой оценки. Группа всегда должна иметь в своем составе инженера по пожарной безопасности и специалиста (-тов) по проведению количественного анализа, которые могут быть одним и тем же лицом (-ами).

Качественная оценка проекта (QDR) — это методика, которая позволяет группе специалистов продумывать возможные ситуации, при которых может возникнуть пожарная опасность, и разрабатывать ряд стратегий для поддержания риска на допустимом уровне. Затем может быть выполнена количественная оценка проекта пожарной безопасности на предмет соответствия целям и критериям, определенным исследовательской группой. Чтобы убедиться, что ни одна существенная деталь не была упущена, качественная оценка проекта (QDR) должна выполняться систематически.

### **6.3 Сроки проведения качественной оценки проекта (QDR)**

Теоретически, качественная оценка должна выполняться на начальной стадии проекта для того, чтобы все полученные результаты исследования могли быть включены в проект здания до создания рабочих чертежей. Однако, на практике, по мере развития процесса проектирования от общей концепции к более детально разработанному плану может возникнуть необходимость повторного проведения качественной оценки проекта (QDR).

### **6.4 Процедура проведения качественной оценки проекта (QDR)**

#### **6.4.1 Общие положения**

При проведении качественной оценки проекта (QDR) должны быть предприняты следующие шаги:

- а) анализ архитектурного проекта здания;
- б) формулирование целей пожарной безопасности;
- в) выявление пожарной опасности и возможных последствий;
- г) разработка пробных противопожарных проектов;
- д) определение критериев допустимости и методов анализа;
- е) создание сценариев пожара для анализа.

Все полученные данные следует документировать, как описано в главе 5, так, чтобы лежащие в их основе принципы и допущения были понятны третьим лицам, например, надзорным органам.

#### **6.4.2 Анализ архитектурного проекта здания**

##### **6.4.2.1 Общие положения**

На начальной стадии проведения качественной оценки (QDR) проект должен рассматриваться на основе схематических чертежей, моделей и т.д., и все архитектурные требования или требования заказчика, которые могут иметь значение при разработке стратегии пожарной безопасности, должны быть выдвинуты на первый план.

Необходимо предоставить и рассмотреть всю имеющуюся в распоряжении информацию, связанную с самим зданием, его назначением и предполагаемым содержанием.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Документ PD 7974-0 [2] содержит контрольный список, который может использоваться при анализе архитектурного проекта.

Данный анализ может также включать:

- а) характеристику здания, т.е. планировку и геометрические параметры здания, детали конструкции, характер и объем нагрузок, оказывающих воздействие на конструкцию (например, постоянные и временные нагрузки), а также пожарную нагрузку;
- б) воздействия окружающей среды, такие, как ветер и снег, влияющие на проектирование пожарной безопасности посредством их воздействия на уровни нагрузки на конструкцию, вентиляционные системы дымоудаления и характер границ наружного пламени, выходящего из окон здания;
- в) характеристику пользователей здания, т.е. тип населенности, расчетную численность пользователей здания и их распределение по его площади, возможность оповещения о пожарной тревоге

- вручную, тип систем обнаружения пожара и аварийной сигнализации;
- г) управление пожарной безопасностью, т.е. вероятный объем и характер управления пожарной безопасностью в здании.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Рекомендации по характеристике здания, воздействиям окружающей среды и характеристике пользователей содержатся в документе PD 7974-0 [2].

#### 6.4.2.2 Управление пожарной безопасностью

##### 6.4.2.2.1 Общие положения

В виду того, что управление пожарной безопасностью является важной и неотъемлемой частью успешного противопожарного проектирования, настоящий свод правил предполагает, что обеспечение всех элементов стратегии противопожарного проектирования и их эффективного применения возможно на протяжении всего срока службы здания.

ПРИМЕЧАНИЕ. Рекомендация, данная в п.6.2, о том, что в состав исследовательской группы необходимо включить представителя, ответственного за управление пожарной безопасностью, основана на данном предположении.

##### 6.4.2.2.2 Управление

При оценке вероятной степени и особенностей управления зданием необходимо учитывать следующие факторы:

- а) право собственности, т.е. уровень информированности о владельце данной собственности;
- б) число лиц, ответственных за управление пожарной безопасностью в здании, и уровень информированности по данному вопросу;
- в) объем ресурсов, которыми располагают лица, ответственные за управление пожарной безопасностью, и уровень их полномочий;
- г) уровень кадрового обеспечения (т.е. соотношение количества служебного персонала к количеству пользователей здания);
- д) уровень подготовки по пожарной безопасности;
- е) уровень обеспечения безопасности здания;
- ж) степень контроля за работой, например, контроля над проведением ремонтных работ в здании;
- з) эффективность процесса передачи информации;
- и) частота мероприятий по обслуживанию и проверке систем пожарной безопасности;
- к) уровень взаимодействия с пожарной командой;
- л) уровень планирования действий на случай непредвиденных обстоятельств;
- м) уровень планирования с учетом пониженной работоспособности систем;
- н) уровень планирования с учетом непредусмотренной населенности здания;
- о) степень независимости тестирования и надзора за системой управления;
- п) уровень управления риском; и
- р) уровень управления пожарной нагрузкой.

Если на большинство данных вопросов даны утвердительные ответы, методы управления вызывают большее доверие.

#### 6.4.3 Определение целей пожарной безопасности

##### 6.4.3.1 Общие положения

На начальном этапе процесса проектирования должны быть четко сформулированы цели проекта пожарной безопасности и установлены критерии допустимости. Главной целью закона о пожарной безопасности является обеспечение защиты людей. Однако следует также учитывать прямые имущественные потери и результаты воздействия пожара и продуктов горения на текущие производственные процессы.

В ходе качественной оценки проекта (QDR) следует установить соответствующие цели и критерии для каждого конкретного исследования. Поскольку структура настоящего свода правил может использоваться для разработки полной стратегии пожарной безопасности либо для рассмотрения одного конкретного аспекта проекта, важно определить соответствие целей и сопутствующих критериев допустимости определенному (-ым) аспекту (-ам) исследуемого проекта.

Главными целями пожарной безопасности при проведении пожарно-технического анализа являются:

- а) безопасность людей;
- б) защита от ущерба; и
- в) защита окружающей среды.

ПРИМЕЧАНИЕ. Данный список не является исчерпывающим; при проведении конкретного анализа могут применяться не все пункты.

##### 6.4.3.2 Безопасность людей

Пользователи здания, пожарные и представители общественности, находящиеся в непосредственной близости от здания, пораженного пожаром, могут подвергаться риску. Главные цели, связанные с безопасностью людей, могут включать меры для обеспечения следующих условий:

- а) пользователи здания должны иметь возможность полностью покинуть здание в условиях достаточной безопасности или в условиях приемлемо низкого риска;
- б) пожарные должны иметь возможность работать в условиях достаточной безопасности;
- в) обрушение здания не должно подвергать опасности людей (включая пожарных), которые могут оказаться вблизи здания.

##### 6.4.3.3 Защита от ущерба



Воздействие пожара на непрерывную эффективную деятельность может быть существенным, поэтому следует уделить внимание вопросу сведения к минимуму ущерба, который наносится:

- а) конструкции и каркасу здания;
- б) содержимому здания;
- в) непрерывной эффективной деятельности;
- г) имиджу компании.

Требования, предписанные законом, как правило, нацелены на защиту людей и предупреждение крупных пожаров. Однако, в определенных обстоятельствах желательно принять меры по снижению потенциального риска больших финансовых потерь.

#### 6.4.3.4 Защита окружающей среды

Поскольку крупный пожар, охватывающий несколько зданий, или выброс большого количества опасных веществ могут оказывать существенное воздействие на окружающую среду, следует рассмотреть меры по ограничению следующих факторов:

- а) воздействия пожара на примыкающие здания или сооружения;
- б) выброса опасных веществ в окружающую среду.

#### 6.4.4 Определение пожарной опасности и возможных последствий

Для выявления потенциальной пожарной опасности в здании должен проводиться систематический анализ проекта. Данный анализ должен учитывать следующие факторы:

- а) источники возгорания;
- б) воспламеняющееся содержимое здания;
- в) материалы конструкции;
- г) назначение здания и работы, проводимые в нем;
- д) общую планировку здания;
- е) прочие необычные факторы.

Список факторов от а) до е) не является полным. Должны быть установлены все опасные факторы, имеющие существенное значение для конкретного здания. Для оценки значимости того или иного опасного фактора нужно в особенности учитывать влияние каждого опасного события на возможные последствия и реализацию рассматриваемых целей пожарной безопасности (см. PD 7974-0 [2]).

#### 6.4.5 Разработка пробных противопожарных проектов

Во многих случаях в архитектурный проект здания необходимо внести поправки или же в целях достижения допустимого уровня безопасности обеспечить дополнительные меры противопожарной защиты. Для осуществления количественного анализа исследовательской группе следует разработать один или несколько пробных противопожарных проектов (стратегий противопожарной защиты).

Следует избрать экономически эффективные стратегии, отвечающие целям и критериям пожарной безопасности. Кроме того, необходимо провести сравнение стратегий друг с другом на предмет стоимости и практической их применения.

В таблице 1 представлен контрольный список вопросов, которые необходимо учитывать при разработке пробного проекта. Данный список не является полным, а представляет собой рекомендации по типам систем, которые следует рассматривать, и по основной информации, необходимой для начала проведения количественного анализа.

**Таблица 1. Контрольный список для разработки пробного проекта**

<b>Система противопожарной защиты</b>	<b>Примеры данных, которые должны быть получены в результате качественной оценки проекта (QDR)</b>
Автоматическое тушение пожара	Средство тушения пожара Нормы проектирования
Обнаружения пожара	Тип датчика Места расположения Зонирование Характеристика чувствительности
Деление на пожарные отсеки	Огнестойкость Место расположения Границы Огнезащитные преграды Противопожарная преграда
Автоматические системы	Дымозащитные клапаны Воздушные клапаны Устройства автоматического открывания/закрывания дверей Вентиляторы Вентиляционные отверстия
Дымоудаление	Тип системы: вытяжка/подпор воздуха/сдерживание
Системы аварийной сигнализации	Звуковая сигнализация или система аварийного оповещения Зонирование Распознавание времени задержки
Стратегия эвакуации	Поэтапная, одновременная или последовательная горизон-

	тальная эвакуация из здания Процедуры управления
Пути эвакуации	Пути эвакуации Ширина аварийных выходов Протяженность путей эвакуации Лестничные клетки Вместимость здания (количество пользователей в здании) Защищенные лифты Убежища для людей с ограниченными возможностями
Тушение пожара первичными средствами	Огнетушители / пожарные рукава Наличие подготовленного персонала
Средства для тушения пожара	Подъездные пути Пожарные стояки Шахты для доступа пожарных Дымовытяжная вентиляция
Управление пожарной безопасностью	План управления Наличие персонала Обучение персонала Пожарный аудит График техобслуживания и ремонта

#### 6.4.6 Определение критериев допустимости и методов анализа

##### 6.4.6.1 Определение критериев допустимости

###### 6.4.6.1.1 Общие положения

Какие бы меры ни принимались для уменьшения последствий пожара, вероятность смерти или травмы не может быть полностью исключена, так как нулевого риска не существует. Поэтому необходимо утвердить критерии, по которым можно оценить полноту и правильность проекта, используя информацию, полученную с помощью одного из следующих методов:

- а) детерминированные критерии (включая, если предусмотрено, коэффициенты запаса);
- б) вероятностные критерии (основанные на риске);
- в) сравнительные критерии;
- г) финансовые критерии.

Следует определить критерии, которые могут быть использованы для оценки соблюдения нормативных требований.

###### 6.4.6.1.2 Критерии для детерминированного анализа

###### 6.4.6.1.2.1 Общие положения

В целях проведения детерминированного анализа в процессе качественной оценки проекта (QDR) должны быть определены и подробно рассмотрены наихудшие сценарии пожара. Дополнительное рассмотрение коэффициентов запаса может понадобиться для учета:

- а) неопределенности в методах расчетов; и/или
- б) последствий ошибки в проектировании.

При возникновении сомнений относительно надежности входных данных или методов расчетов для подстраховки следует применять подход, основанный на расчетах с запасом.

###### 6.4.6.1.2.2 Критерии безопасности людей

Как правило, критерии безопасности людей устанавливаются, чтобы удостовериться, что противопожарное решение обеспечивает, по крайней мере, такой же уровень безопасности, что и предписывающие нормы (см. BS 5588-0 [10]).

Должны быть установлены предельные условия для удушающих (усыпляющих) газов, веществ раздражающего действия, задымления, теплового излучения и температур дыма (см. PD 7974-6 [8]).

ПРИМЕЧАНИЕ. Под условиями подразумеваются предельные значения, превышение которых может привести к тяжелому поражению некоторых людей. Воздействие этих токсичных веществ частично зависит от суммарной дозы, которой подвергается человек, и частично от их концентрации.

В случае с веществами раздражающего действия следует учитывать концентрацию этих веществ, при которой боль в глазах, носу, горле или легких может затруднять эвакуацию или препятствовать ей. Длительное воздействие веществ раздражающего действия также может приводить к поражению или гибели людей, однако, если пределы концентрации не превышены, это маловероятно.

В случае с задымлением считается, что при опускании дыма ниже определенного уровня люди ведут себя как в темноте. В больших помещениях людям необходима достаточная видимость, чтобы сориентироваться и найти выход. Кроме того, люди неохотно пользуются сильно задымленными путями эвакуации.

Превышение допустимого уровня теплового излучения за несколько секунд вызывает острое поражение кожных покровов, приводящее к ожогам, в то время как под воздействием менее интенсивного теплового потока можно находиться более длительный период времени. При кратковременных воздействиях, таких как во время открытия двери помещения, охваченного огнем, может допускаться воздействие более высоких температур.

Под воздействием конвективного тепла кожа испытывает сильную боль и подвергается ожогам по истечении определенного периода времени, длительность которого зависит от температуры. Существует допустимое

предельное значение температуры вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, зависящее от продолжительности воздействия и содержания водяных паров.

Проводимое тепло является важным фактором только тогда, когда кожа контактирует с горячими поверхностями. Однако, даже кратковременное прикосновение к металлической поверхности, нагретой выше критической температуры, может вызвать ожоги. Подробное описание предельно допустимых температур воздуха и контактных температур приведено в документе PD 7974-6 [8].

#### 6.4.6.1.2.3 Критерии защиты от ущерба и защиты окружающей среды

Имущество в здании и за его пределами, которое может быть повреждено огнем, может быть сгруппировано по трем категориям: здание, содержимое и окружающая среда.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Типичные примеры объектов, представленных в этих группах, даны в таблице 2.

Эти объекты имеют разные степени восприимчивости к поражению при пожаре, вызванному теплом и дымом. Например, пожар, приводящий к вспышке в отсеке или помещении, вероятно, повредит внутреннюю обивку, крепления, арматуру, коммуникации и содержимое, и их придется менять. Элементы конструкции могут выдержать определенное повреждение, при этом их замена может не потребоваться. Распространение дыма в другие части здания может вызвать повреждение другой внутренней обивки, креплений, арматуры и содержимого.

**Таблица 2. Группы имущества, находящегося внутри и вне здания**

Группа	Подгруппа
Здание	Подземная часть
	Надземная часть
	Внутренняя отделка
	Крепления и арматура
	Коммуникации, снабжение и распределение
Содержимое	Электрические приборы
	Документация
	Производственное оборудование
	Сырьевые материалы
	Готовая продукция
	Отдельные предметы
Окружающая среда	Вода
	Почва
	Качество воздуха
	Соседние здания

Стоимость объекта, поврежденного огнем, может рассматриваться не только как прямая восстановительная стоимость, но также как потеря активов и продуктивно используемого времени. Все объекты являются частью единого имущественного комплекса и включены в целевое назначение здания. Период времени, потраченного на замену ключевых поврежденных объектов, может быть длительным и приводить к прерыванию деятельности.

Независимо от степени повреждения здания или его содержимого, приостановка деятельности, вызванная пожаром, например, при необходимости эвакуации людей, может привести к большим финансовым потерям. В качестве примера можно привести торгово-финансовые операции и любые другие подобные операции, когда клиенты переходят к конкурентам.

Методы, которые могут быть использованы для снижения ущерба от пожара, включают:

- выбор материалов, устойчивых к огню;
- обеспечение системами противопожарной защиты (см. таблицу 1);
- планирование действий на случай непредвиденных обстоятельств.

Следует обратить внимание на снижение возможного воздействия объектов, событий и планировок, которые могут усугубить ущерб от пожара.

Чтобы для здания установить предельно допустимые значения ущерба, нанесенного имуществу и окружающей среде, нужно провести оценку риска. При ее проведении следует обратить внимание на стоимость имущества в здании и за его пределами и на воздействие пожара.

Предельно допустимый ущерб имуществу и деятельности, который должен быть определен для здания, может содержать:

- количество значимых объектов, которые допускается подвергнуть ущербу (в определенной степени);
- максимальная зона прямого поражения огнем;
- максимальная зона ущерба, причиненного дымом и горячими газами;
- максимальная зона ущерба, причиненного водой;
- максимальные периоды времени, требующиеся для восстановления после пожара.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Зоны часто характеризуются их общей площадью.

#### 6.4.6.1.3 Критерии для вероятностного анализа

При проведении вероятностной оценки риска целью обычно является показать, что возможность возникновения заданного события (например, травмы, гибели, большого количества смертельных случаев, большого ущерба, нанесенного имуществу и окружающей среде) допустима или приемлемо мала (см. PD 7974-1 [3]).

ПРИМЕЧАНИЕ. Гораздо большую обеспокоенность в обществе вызывают несчастные случаи, которые могут приводить к большому числу жертв, даже если они происходят не часто, например, автобусные аварии в сравнении с автомобильными.

Сущность мероприятий по тушению пожара исключает возможность количественной оценки риска, которому подвергаются пожарные в конкретном здании.

#### 6.4.6.1.4 Критерии для сравнительного анализа

Существует вероятность, что во многих проектах положения существующих сводов правил и других руководств (см. BS 5588-0) будут в значительной степени соблюдены, и что пожарно-технический анализ не понадобится (или может использоваться только для обоснования некоторых отклонений от норм). Поэтому одним из самых простых вариантов для исследовательской группы, осуществляющей качественную оценку проекта (QDR), может быть определение критериев допустимости в соответствии с рекомендациями существующих норм. Допустимость конкретного проекта можно оценить путем сравнения. Уровень безопасности, обеспечиваемый альтернативными противопожарными стратегиями, можно сравнить с уровнем, достигаемым при соблюдении традиционных норм. Этот подход содержит в себе детерминированные и/или вероятностные методы и требует менее подробного исследования по сравнению с полным анализом. Цель сравнительного анализа - показать, что здание, в соответствии с проектом, не представляет большего риска его пользователям, чем здание подобного типа, спроектированное в соответствии с традиционными нормами.

Большинство существующих норм и руководств (см. BS 5588-0 [10]) допускают частичное применение компромиссных и/или альтернативных мер, например, в отношении огнестойкости, размеров пожарных отсеков и противопожарного разрыва. При сравнительном анализе эти примеры могут применяться без необходимости подробного анализа.

#### 6.4.6.1.5 Финансовые критерии

Структура, изложенная в настоящем своде правил, может быть использована для оценки вероятности и степени ущерба, причиненного конструкции и содержимому здания дымом и огнем. Эта информация может затем быть использована при проведении технико-экономического анализа для оценки стоимости дополнительных мер противопожарной защиты.

#### 6.4.6.2 Определение подходящих методов анализа

Разработав один или несколько пробных проектов и показательных сценариев пожара, исследовательская группа, осуществляющая качественную оценку проекта (QDR), должна установить глубину и диапазон требуемого количественного выражения и определить соответствующие методы анализа.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Необходимость в проведении дальнейшего подробного анализа может быть исключена, например, если в результате качественного анализа установлено, что уровень безопасности равен уровню, указанному в предписывающих нормах и руководствах (см. BS 5588-0).

Методы, которые может использовать исследовательская группа, осуществляющая качественную оценку проекта (QDR), включают в себя:

- а) простые вычисления;
- б) детерминированный анализ с помощью компьютера;
- в) простой вероятностный анализ, например, сравнительная вероятностная оценка риска;
- г) полный вероятностный анализ.

В некоторых случаях, когда количественный анализ неприемлем, эффективным средством достижения проектного решения может стать подробный качественный анализ огневых испытаний.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Детерминированный анализ с помощью сравнительных критериев, как правило, требует меньше средств и данных, чем вероятностный подход, и является, возможно, самым простым методом получения допустимого проектного решения. Выполнение полного вероятностного анализа может быть оправдано только при адаптации абсолютно нового подхода к проекту здания или противопожарной защите (см. PD 7974-0 [2] и PD 7974-7 [9]).

#### 6.4.7 Определение сценариев пожара для анализа

##### 6.4.7.1 Общие положения

Поскольку количество возможных сценариев пожара в здании может быть очень большим (и даже бесконечным), и в наличии нет ни данных, ни средств, позволяющих его определить, то подробный анализ и количественное выражение сценариев пожара для определенного здания должны быть ограничены самыми значимыми сценариями.

Описание сценария пожара для целей анализа должно включать в себя описание следующих параметров (там, где это уместно):

- тип пожара;
- внутренние вентиляционные условия;
- внешние вентиляционные условия;
- функционирование всех мер безопасности;
- тип, размер и местонахождение очага возгорания;
- распределение и тип горючих материалов;
- плотность пожарной нагрузки;
- тушение пожара;
- состояние дверей;

- наличие разбитых окон;
- вентиляционная система здания.

Кроме того, следует рассмотреть возможные последствия каждого из сценариев.

При сравнении альтернативных вариантов проекта пожарной безопасности с базовым вариантом, например, с предписывающим решением, количественное выражение может быть упрощено. В таких случаях может быть необходимо рассмотреть лишь единичный сценарий пожара при условии, что это обеспечит достаточную информацию для оценки относительных уровней безопасности пробного проекта и базового варианта.

Исследовательская группа, осуществляющая качественную оценку проекта (QDR), должна установить как подлежащие анализу сценарии пожара, так и не требующие анализа.

При определении последовательности событий для дальнейшего рассмотрения исследовательская группа должна учитывать вероятность отказов систем противопожарной защиты и сбоев в управлении безопасностью. При детерминированном или сравнительном анализе для дальнейшей оценки обычно определяют некоторое количество наихудших сценариев. Однако события с очень низкой вероятностью возникновения анализировать не следует, за исключением случаев, когда результат этих событий является потенциально катастрофическим, и имеется вполне осуществимый способ исправления проблемы.

В ходе качественного анализа и определения значимых сценариев пожара необходимо выявить значимые сценарии распространения пожара и описать их способом, подходящим для дальнейшей количественной обработки.

#### 6.4.7.2 Расчетные пожары

##### 6.4.7.2.1 Общие положения

Чтобы оценить влияние распространяющегося пожара, следует определить один или несколько расчетных пожаров, на которых будет основываться анализ. Расчетный пожар может быть описан на основе следующих параметров:

- скорости выделения тепла;
- скорости образования токсичных веществ;
- скорости дымообразования;
- мощности пожара (включая длину пламени);
- времени возникновения основных событий, таких как вспышка.

Если есть возможность установить элемент, который может воспламениться первым, начальную скорость роста пожара можно определить на основе данных испытаний, при этом развитие пожара определяется отношением фактической скорости выделения тепла ко времени. Однако в большинстве случаев известен лишь общий тип возгораемых материалов, а элемент, воспламеняющийся первым, остается неизвестным.

Более полное описание расчетного пожара может включать одну или все перечисленные ниже стадии:

- начальная стадия, характеризующаяся множеством различных процессов горения, к которым может относиться тление, пламенное горение или тепловое излучение;
- стадия роста пожара, которая охватывает период от распространения пожара до вспышки (если предусмотрено) или до горения всех горючих материалов;
- стадия полного развития пожара, характеризующаяся практически устойчивой скоростью горения; может возникать при пожарах, регулируемых вентиляцией или топливной нагрузкой;
- стадия затухания пожара охватывает период снижения интенсивности пожара;
- прекращение пожара, когда больше не происходит выделение энергии.

ПРИМЕЧАНИЕ. Рекомендации по растущим пожарам и полностью развившимся пожарам на месте возгорания даны в пунктах 6.4.7.2.2, 6.4.7.2.3 и 6.4.7.2.4.

##### 6.4.7.2.2 Растущий пожар

Большинство пожаров, в которых не участвуют легковоспламеняющиеся жидкости или газы, будут расти относительно медленно. С увеличением мощности пожара увеличивается скорость его роста. Это может зависеть от многих факторов, включая:

- тип горючих веществ;
- геометрические параметры размещения горючего материала;
- воспламеняемость горючего материала;
- скорость выделения тепла, характерная для горючего материала;
- вентиляция;
- внешний тепловой поток;
- площадь поверхности, подвергаемой воздействию.

В целях проектирования обычно предполагается, что рост пожаров происходит в геометрической прогрессии либо пропорционально квадрату времени.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Рекомендации по использованию характерных кривых роста пожара даны в документе PD 7974-1 [3].

При проведении качественной оценки проекта (QDR) исследовательская группа должна рассмотреть ожидаемую скорость роста пожара в каждом из сценариев пожара. Может быть проведена качественная оценка по пяти или более категориям роста пожара, включая:

- тление;
- медленный рост;
- средний рост;
- быстрый рост;
- сверхбыстрый рост.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Характерные скорости роста пожара смоделированы по необходимости, но основаны на исследованиях как испытаний, так и анализа реальных пожаров, и считаются достаточным основанием для проектирования.

#### 6.4.7.2.3 Полностью развившийся пожар

Для упрощения расчетов, в частности, при проектировании противодымной защиты, можно сделать допущение о полностью развившемся пожаре с постоянной скоростью выделения тепла с момента возгорания. Значение скорости выделения тепла должно соответствовать наибольшей мощности, которой может достигнуть пожар за соответствующий период времени.

#### 6.4.7.2.4 Местонахождение

Необходимо точно определить местонахождение расчетного пожара. В ходе качественной оценки проекта (QDR) должны быть определены геометрические параметры пространства и, где необходимо, расположение источника пожара в помещении, например, необходимо учитывать, находится ли огонь в центре, у стены или в углу помещения.

Местонахождение пожара в здании должно быть рассмотрено в ходе качественной оценки проекта (QDR), поскольку оно влияет на время, требующееся пожарному подразделению для начала тушения пожара по прибытии на место. Например, время боевого развертывания пожарного подразделения может быть намного больше для тушения пожара на верхних этажах многоэтажного здания по сравнению со временем, необходимым для одноэтажных зданий.

### 6.5 Документально зафиксированные результаты качественной оценки проекта (QDR)

Результатом качественной оценки проекта (QDR) является набор преимущественно качественных выходных данных, которые служат основой для проведения количественного анализа. Как правило, исследовательская группа, осуществляющая качественную оценку проекта (QDR), должна предоставить следующую информацию:

- а) результаты архитектурного анализа;
- б) четкая формулировка целей пожарной безопасности;
- в) важные опасные факторы и их возможные последствия;
- г) один или несколько пробных противопожарных проектов;
- д) критерии допустимости и предполагаемые методы анализа;
- е) описание параметров сценариев пожара для анализа.

По окончании качественной оценки проекта (QDR) исследовательская группа должна решить, какой (-ие) из пробных проектов является оптимальным, а также необходим ли количественный анализ, демонстрирующий, что проект соответствует цели (-ям) пожарной безопасности.

## 7. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

### 7.1 Общие положения

По окончании качественной оценки проекта (QDR) следует провести его количественный анализ. Данный анализ должен быть разбит на несколько отдельных частей, которые в настоящем своде правил называются подсистемами. Подсистемы содержат рекомендации по выполнению определенного типа расчетов в поддержку пожарно-технического анализа и описывают основные принципы и процедуры, соответствующие конкретному аспекту пожарно-технического анализа, который рассматривается соответствующей частью данного анализа. При проведении анализа конкретного аспекта может использоваться любая из подсистем отдельно от остальных, или все шесть подсистем могут быть задействованы одновременно, в качестве одного из этапов общего пожарно-технического анализа здания.

Подсистемы включают следующие типы:

- а) Подсистема SS1. Возникновение и развитие пожара внутри помещения, где произошло возгорание (PD 7974-1);
- б) Подсистема SS2. Распространение дыма и токсичных газов внутри и за пределы помещения, где произошло возгорание (PD 7974-2);
- в) Подсистема SS3. Поведение конструкции и распространение пожара за пределы помещения, где произошло возгорание (PD 7974-3);
- г) Подсистема SS4. Обнаружение пожара и активация систем противопожарной защиты (PD 7974-4);
- д) Подсистема SS5. Работа пожарных подразделений (PD 7974-5);
- е) Подсистема SS6. Эвакуация (PD 7974-6).

В процессе проектирования различные подсистемы могут быть соединены воедино. Основные взаимосвязи каждой из подсистем определяются с помощью информационной матрицы, представленной на рис. 3.

Различные аспекты анализа (или, в действительности, каждая из подсистем) могут быть количественно охарактеризованы при помощи:

- детерминированного анализа; или
- вероятностной оценки риска.

На практике, анализ может представлять собой сочетание нескольких детерминированных и нескольких вероятностных элементов. Детерминированные модели основаны на физических, химических, термодинамических закономерностях и механизмах человеческого поведения, сведения о которых почерпнуты из научных теорий и практических расчетов. В качестве альтернативной стратегии может быть использована стратегия, при которой для расчета вероятности возникновения конкретного нежелательного события пожар следует рассматривать как серию случайных событий и проводить вероятностную оценку возможных последствий.

### 7.2 Детерминированный подход

#### 7.2.1 Общие положения

При детерминированном подходе к проектированию количественно определяют рост пожара и его распространение, движение дыма и последствия их воздействия на здание и его пользователей. Данный подход основан на физических, химических, термодинамических закономерностях, сведения о которых почерпнуты из научных теорий и практических методов. Детерминированный анализ включает оценку ряда обстоятельств, которые ведут к единому результату, т.е. проект либо будет успешным, либо нет.

#### 7.2.2 Детерминированные методы

Существует несколько методов для оценки развития и влияния пожара и передвижения людей. Некоторые из данных методов описаны в подсистемах (см. PD 7974, части 1 - 6).

#### 7.2.3 Сценарии пожара

Взаимосвязь между пожаром, зданием и людьми может привести к возникновению очень сложной системы. Для оценки пожарной безопасности в крупных сложных зданиях при помощи детерминированных расчетов необходимо провести ряд предварительных упрощений. В теории, способствовать созданию сценариев пожара могут несколько факторов, но на практике, вклад многих факторов будет несущественным. Тщательно выбирая момент и место для проведения расчетов, и затем применяя соответствующий метод расчета к рассматриваемой задаче, можно придти к более гибкому, прагматичному и в равной степени безопасному решению.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Рекомендации по выбору значимых сценариев пожара и исходных допущений приведены в документе PD 7974-0 [2].

При рассмотрении сценариев пожара по отдельности для присвоения значений переменным следует выбирать наихудшие из возможных условия. Однако, следует признать, что при рассмотрении нескольких сценариев пожара использование серии маловероятных событий ведет к получению проекта с очень большим запасом. С другой стороны, использование средних значений переменных не ведет к созданию проекта, который сможет обеспечить допустимый уровень безопасности.

Основным фактором успешного анализа является рационализация задачи качественным методом в контексте конкретных требований пожарной безопасности в ходе проведения качественной оценки проекта (QDR). Затем следует уделить внимание количественной интерпретации проекта и, в особенности, неопределенностям, которые могут возникать при количественном анализе.

#### 7.2.4 Границы применения

Зачастую экспериментальные работы, используемые для выявления эмпирических соотношений, выполняются в «уменьшенном масштабе» в специальных помещениях научно-исследовательских учреждений. Следует признать, что применение моделей анализа, полученных в результате подобных работ, может ограничиваться степенью экстраполяции, которую можно провести, например, исходя из размера помещения или группы рассмотренных факторов. Использование экстраполяции данных, полученных в результате испытаний, должно быть оправдано.

Детерминированные методы обеспечивают получение полезных показателей развития и воздействия пожара, но природа пожара такова, что получение точных результатов маловероятно. Как правило, модели анализа дают завышенные прогнозы для своих областей применения. Во всех ситуациях, где есть малейшее сомнение относительно пригодности какой-либо модели, пользователю следует установить, каким образом были выполнены экспериментальные работы, и подтвердить правильность принятого решения, например, с помощью проведения анализа чувствительности.

### **7.3 Вероятностный подход**

#### **7.3.1 Общие положения**

Цель данного раздела — показать, каким образом некоторые из методов вероятностной оценки риска могут применяться для решения задач пожарно-технического анализа. Подробное описание порядка и методов проведения вероятностной оценки риска не входит в рамки настоящего свода правил, поскольку по данной теме существует целый ряд руководств.

На практике, многие факторы могут оказывать влияние на развитие пожара в здании и эвакуацию его пользователей. Данные факторы варьируются в зависимости от обстоятельств, возникающих в процессе пожара (например, было ли успешным тушение пожара первичными средствами, или были ли противопожарные двери зафиксированы в открытом положении). Вероятностная оценка риска должна быть нацелена на определение вероятности возникновения конкретного нежелательного события, чего можно достичь, используя статистические данные о частоте возникновения пожаров и надежности систем противопожарной защиты (см. PD 7974-7), наряду с проведением детерминированной оценки последствий, которые могут возникнуть вследствие развития различных вероятных сценариев пожара. Данный подход может в некоторой степени учитывать неопределенности, присущие данным о реальных пожарах, и сложные взаимодействия между факторами.

Желаемый уровень безопасности можно определить посредством сравнительных оценок, используя в качестве отправной точки имеющиеся в настоящее время статистические данные (см. PD 7974-7).

Риск, сопряженный с пожаром в здании, учитывает вероятность возникновения пожаров и их потенциальные последствия, т.е. потенциальное число смертельных случаев и степень имущественного ущерба. Следовательно, существует возможность определения риска как функции опасности, вероятности и последствий или степени имущественно ущерба.

Используя структуру, представленную в настоящем своде правил, можно оценить вероятную степень имущественного ущерба от пожара и продуктов горения. Данная информация может затем быть использована для оценки потенциальной степени финансового ущерба и для осуществления технико-экономического анализа, целью которого является определение полезности внедрения дополнительных мер противопожарной защиты.

По причине пробелов в статистических данных иногда сложно определить абсолютное значение пожарного риска, присущего конкретному зданию. Однако, анализ, основанный на данных о риске, обеспечивает реальную базу для точного описания или оценки различных стратегий противопожарной защиты (например, спринклерные системы в сравнении с делением на пожарные отсеки).

Несмотря на то, что большое количество факторов может способствовать развитию пожара и его последствиям, на практике вклад многих факторов будет несущественным. Тщательно выбирая момент и место для проведения расчетов, и затем применяя соответствующий метод расчета к рассматриваемой задаче, можно прийти к получению прагматичного решения.

Вероятностной оценке риска должна предшествовать качественная оценка проекта (QDR) по двум основным причинам:

- а) чтобы убедиться, что достигнуто полное понимание задачи, и что анализ затрагивает соответствующие аспекты системы пожарной безопасности; и
- б) чтобы упростить задачу и сократить, насколько представляется возможным, объем работ, требующихся для проведения расчетов.



## 8. ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ

### 8.1 Общие положения

Результаты количественного анализа, основанного на шести подсистемах (см. PD 7974, части 1-6), необходимо сравнить с критериями допустимости, определенными в ходе качественной оценки проекта (QDR). Можно рассмотреть три основных подхода:

- а) детерминированный;
- б) вероятностный;
- в) сравнительный.

Если после количественного анализа проекта ни один из пробных проектов не удовлетворяет критериям допустимости, необходимо заново проводить качественную оценку проекта (QDR) и количественную обработку до тех пор, пока не будет найдена стратегия пожарной безопасности, удовлетворяющая критериям допустимости и другим проектным требованиям (см. рис. 2).

При детерминированном анализе целью является показать, что на основе исходных допущений (обычно «правдоподобный наихудший случай»), определенная совокупность условий не реализуется. При вероятностном анализе критерии устанавливаются таким образом, чтобы вероятность наступления данного события была допустимо низкой. Критерии риска обычно выражаются на основе ежегодной вероятности наступления нежелательного события.

Часто бывает сложно выразить уровень безопасности в абсолютных показателях. Тем не менее, продемонстрировать, что проект обеспечивает такой же уровень безопасности, как и в здании, которое соответствует более предписывающим нормам, может быть сравнительно легко. Например, протяженность путей эвакуации в большом выставочном зале может быть больше, что приведет к увеличению времени эвакуации. Однако, если в данном зале высокие потолки, возможно показать, что время, необходимое для заполнения помещения дымом, более чем компенсирует увеличение времени эвакуации. Так как анализ носит чисто сравнительный характер, то маловероятно, что какие-либо допущения, например, касающиеся скорости роста пожара и выбора методов моделирования дыма, существенно повлияют на результат.

Прежде чем окажется возможным продемонстрировать, что решение предлагает, по крайней мере, такой же уровень безопасности, как предписывающие нормы, необходимо четко понимать цели этих норм. При проведении качественной оценки проекта (QDR) группа специалистов должна учитывать суть всех важных рекомендаций, так как некоторые положения норм могут иметь более чем одну цель. По окончании этой работы специалисты могут разработать альтернативные проектные решения, направленные на заданные базовые цели. Инженер по пожарной безопасности должен показать, что предложенное решение будет, по крайней мере, таким же эффективным и надежным как и при традиционном подходе.

Поскольку в инженерных расчетах существует ряд неопределенностей, может быть целесообразно использовать в данном анализе коэффициенты запаса. Например, можно с высокой степенью точности рассчитать минимальное время (например, время движения), необходимое людям для того, чтобы добраться до определенного выхода и покинуть здание. Однако, известно, что люди имеют тенденцию покидать здание привычным и знакомым для них путем, поэтому часто сложно определить, сколько людей воспользуются тем или иным доступным выходом. Методы расчетов и проектные допущения, представленные в подсистемах (см. PD 7974, части 1-6), как правило, являются завышенными.

### 8.2 Детерминированные критерии

#### 8.2.1 Сравнение результатов с критериями проектирования (безопасность людей)

##### 8.2.1.1 Общие положения

Как правило, в ходе детерминированного анализа следует оценивать тот факт, что все люди могут покинуть опасную часть здания в условиях относительной безопасности и без посторонней помощи. Следует сравнивать время наступления опасных условий и время, необходимое людям, чтобы покинуть опасную зону.

##### 8.2.1.2 Воздействие опасных факторов пожара

ПРИМЕЧАНИЕ. Информация о критериях допустимости воздействия токсичных газов, тепла и снижения видимости приведена в документе PD 7974-6 [8].

Поскольку разрушение конструкции до момента окончания эвакуации может также представлять угрозу жизни, в ходе анализа необходимо рассмотреть все возможные воздействия опасных условий при пожаре:

- а) снижение видимости;
- б) воздействие токсичных и раздражающих веществ;
- в) тепловое воздействие;
- г) разрушение конструкции.

В ходе качественной оценки проекта (QDR) необходимо попытаться установить, какие потенциальные угрозы являются серьезными и требуют количественного выражения. В большинстве случаев снижение видимости вследствие задымления определяет изначальную угрозу жизни и, следовательно, фактическое время безопасной эвакуации (ASET). Однако, если можно продемонстрировать, что огонь будет потушен до достижения предельного уровня токсичных условий или температур, тогда снижение видимости не будет являться критерием безопасности людей.

При проектировании с учетом безопасности людей целью должно быть обеспечение:

$$ASET > \Delta t_{esc} \quad (1)$$

где

$$\Delta t_{esc} = \Delta t_a + \Delta t_{evac};$$

$\Delta t_{esc}$  - время выхода;

$\Delta t_{evac}$  - время эвакуации;

$\Delta t_a$  - время с момента возгорания до оповещения о пожаре.

Вдыхание дыма и токсичных газов может затруднять движение, не вызывая при этом полное поражение, которое помешает эвакуации. В принципе, существует возможность учитывать влияние вдыхания опасных газов на скорость эвакуации. Однако, в большинстве случаев, если проект основан на расчетах с запасом, такая детализация эвакуации не обоснована. Как правило, в целях проектирования можно сделать допущение, что реакция пользователей здания на пожар остается неизменной до тех пор, пока условия не станут неприемлемыми, что соответственно приведет к прекращению движения людей.

#### 8.2.1.3 Разрушение конструкции

Если разрушение конструкции угрожает жизни людей, находящихся внутри и снаружи здания, должна быть обеспечена достаточная огнестойкость. В зданиях, где принята поэтапная эвакуация, а также в таких зданиях, как больницы, некоторые люди могут на протяжении длительного периода времени оставаться внутри, пока в одной из частей здания осуществляются работы по тушению пожара. В анализе чувствительности следует учитывать последствия разрушения конструкции (см. PD 7974-3 [5]).

### 8.2.2 Сравнение результатов с критериями проектирования (защита от ущерба и защита окружающей среды)

#### 8.2.2.1 Общие положения

Следует продемонстрировать, что установленные для здания цели и критерии выполнены. Например, общая расчетная площадь ущерба от пожара должна быть меньше или равна (но предпочтительно меньше), чем установленные пределы ущерба.

Детерминированные расчеты могут определить степень ущерба от пожара. Ущерб возникает вследствие выделения тепла и дыма от огня. Расчетное значение и распределение тепла и дыма можно отнести к ущербу внутри и вокруг здания, что включает в себя имущественный ущерб зданию, его содержимому и окружающей среде.

В результате влияния лучистого и конвективного тепла, объекты могут подвергнуться необратимому ущербу. По мере увеличения температуры и времени воздействия увеличивается и ущерб. Выделяющийся при пожарах дым содержит газы, жидкости и небольшие твердые частицы. Этот дым движется от огня в конвективном потоке, нанося вред зданию, содержимому и окружающей среде. Горячие угли могут разлетаться от огня и вызывать возгорание на расстоянии.

Огонь может беспрепятственно распространяться через множество помещений или может быть ограничен небольшой зоной. Ограничение может быть обусловлено следующим:

- а) низкой топливной нагрузкой;
- б) большими расстояниями между горючими материалами;
- в) делением на пожарные отсеки;
- г) активной противопожарной защитой (например, спринклерами);
- д) активным тушением пожара.

При тушении пожара огнетушащие вещества также причиняют ущерб имуществу. Количество огнетушащих веществ и их воздействие на здание, содержимое и окружающую среду могут быть вычислены посредством детерминированной оценки.

#### 8.2.2.2 Ущерб имуществу

Степень допустимого ущерба для определенных объектов или зон (описанных площадью пола их помещений) определяется группой специалистов, осуществляющих качественную оценку проекта (QDR). Рассчитанные детерминированные значения теплового и дымового ущерба не должны превышать эти пределы.

#### 8.2.2.3 Ущерб окружающей среде

Как только будет установлена степень допустимого загрязнения воздуха, земли и воды для здания, на основе расчетных детерминированных значений можно спрогнозировать массовый выброс веществ и их расчетное распределение в упомянутых зонах. Расчетные значения загрязнения не должны превышать пределы, установленные для окружающей среды.

#### 8.2.2.4 Повреждение конструкции

Степень ожидаемого повреждения конструкции может быть определена с помощью детерминированных расчетов. Помимо имущественного ущерба, связанного с повреждением конструкции, должны учитываться другие аспекты, такие как реставрация здания, время восстановления и вероятность слишком большого выброса вредных веществ в окружающую среду.

## 8.3 Вероятностный критерий (риск)

При вероятностном анализе критерии устанавливаются (см. PD 7974-7 [9]) таким образом, чтобы вероятность наступления данного события была допустимо низкой. Критерии риска обычно выражены на основе ежегодной вероятности наступления нежелательного события.

#### 8.4 Сравнительные критерии

При сравнительном анализе достаточно легко продемонстрировать, что проект обеспечивает такой же уровень безопасности, как и в здании, которое соответствует более предписывающим нормам (см. BS 5588-0), посредством сравнения результатов подробного анализа.

Однако, должно быть четкое понимание цели и сути предписывающих норм. Инженер по пожарной безопасности должен показать, что предложенное решение будет, по крайней мере, таким же эффективным и надежным как и при традиционном подходе (см. BS 5588-0).

#### 8.5 Коэффициенты запаса и неопределенность

Разрабатывая противопожарное проектное решение, следует учитывать следующие источники неопределенности:

- а) выбор и определение сценария (-ев);
- б) создание подходящей концептуальной модели (см. PD 7974, части 0-7) для выбранного сценария;
- в) создание соответствующей вычислительной модели;
- г) входные данные и другие выбранные параметры.

В принципе, величина неопределенности, связанная с каждым этапом и частью решения, должна быть измерена и суммирована для получения общей неопределенности. Эта общая неопределенность может в дальнейшем обеспечить основу для выбора коэффициента запаса, используемого при применении решения на практике.

ПРИМЕЧАНИЕ. На данный момент не представляется возможным выразить количественно неопределенности на всех этапах расчета; эти проблемы частично рассматриваются в документе PD 7974-7 [9]. Любые коэффициенты запаса, используемые в предложенном решении, зависят в некоторой степени от профессионального мнения инженера-проектировщика, а также тех, кто ответственен за осуществление оценки и утверждение решения.

По возможности, это мнение должно полагаться на понимание основ и ограничений выбранных сценариев, моделей и данных и должно быть подробно изложено в отчете и при предоставлении конечной версии проекта.

#### 8.6 Анализ чувствительности

Поскольку детерминированный проект включает в себя неопределенности, как правило, их можно учитывать, используя подход, основанный на расчетах с запасом, например, выбрать скорость роста пожара, которая является больше ожидаемой обычно. Однако, если детерминированный подход к проекту не подходит, следует обращаться к исходным источникам неопределенности, связанным с:

- а) входными данными, например, неопределенность, связанная с изначальной качественной интерпретацией задачи в ходе качественной оценки проекта (QDR);
- б) упрощенными допущениями, сделанными в ходе разработки детерминированных методов для того, чтобы анализ стал возможным.

Признак такой чувствительности может быть получен на основе данных о реакции выходных параметров на изменения в отдельных входных параметрах. Это послужит руководством для определения уровня точности, требуемой для входных данных.

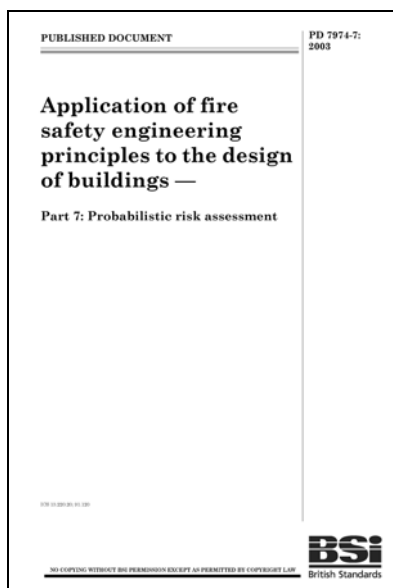
Цель анализа чувствительности не должна быть сведена только к проверке точности результатов. Целью также должен быть сбор сведений о значимости отдельных параметров. Например, может быть важным установить, насколько значима отдельная система по отношению к конечным последствиям. Если установлено, что система или допущение являются значимыми по отношению к общему уровню безопасности, следует рассмотреть вопрос об обеспечении избыточности в проекте или провести вероятностный анализ (см. п.7.3).

Упрощения и допущения, сделанные в ходе качественной оценки проекта (QDR) для содействия в проведении данного анализа, должны быть проверены на их значимость для проекта пожарной безопасности. Например, может быть сделано допущение, что помещение, где произошло возгорание, останется закрытым, и, что возможность открытой двери можно не учитывать. Однако, в альтернативном сценарии может быть сделано допущение, что дверь открыта, тогда можно оценить влияние локализации пожара.

## ВЫДЕРЖКИ ИЗ PD 7974-7

**PD 7974-7. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска»**

***PD 7974-7. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic risk assessment***



Издательство: Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания

British Standards Institution (BSI), London, UK

ISBN: 0 580 41515 5

Формат: 29,7 x 21 см

Кол-во страниц: 80

Год издания: 2003

# **PD 7974-7. «ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ. ЧАСТЬ 7: ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРНОГО РИСКА»**

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной главе представлены выдержки из документа PD 7974-7:2003 «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска» (*PD 7974-7 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic risk assessment*) [9]. Информация изложена на основе фрагментарного перевода данного документа. В начале приводится оглавление в целях ознакомления читателей со структурой документа. Приведенные в данном обзоре части выделены в оглавлении жирным шрифтом.

- 1. Область применения**
- 2. Термины и определения**
  - 2.1 Термины и определения**
  - 2.2 Условные обозначения и сокращения
- 3. Методология проектирования**
  - 3.1 Общие положения**
  - 3.2 Применение вероятностной оценки риска в пожарно-техническом анализе**
  - 3.3 Определение и выбор сценариев пожара для детерминированного анализа**
  - 3.4 Определение входных данных для детерминированного анализа**
  - 3.5 Анализ определенных аспектов пожарной безопасности при проектировании зданий**
  - 3.6 Анализ общей картины пожарной безопасности при проектировании зданий**
- 4. Критерии допустимости**
  - 4.1 Общие положения**
  - 4.2 Сравнительные критерии**
  - 4.3 Абсолютные критерии**
- 5. Стандартный вероятностный анализ**
  - 5.1 Общие положения**
  - 5.2 Простой статистический анализ**
  - 5.3 Древовидные логические схемы**
  - 5.4 Анализ чувствительности**
- 6. Комплексный анализ**
  - 6.1 Общие положения**
  - 6.2 Другие статистические модели**
  - 6.3 Анализ надежности**
  - 6.4 Стохастические модели**
  - 6.5 Анализ Монте-Карло**
  - 6.6 Частичные коэффициенты запаса**
  - 6.7 Бета-метод**
- 7. Данные**
  - 7.1 Сопоставление данных для вероятностной оценки риска**
  - 7.2 Ключевые вопросы в применении данных вероятностной оценки риска**
- 8. Перспективы развития**
  - 8.1 Общие положения**
  - 8.2 Данные**
  - 8.3 Анализ**
- Приложение А. Таблицы**
- Библиография**

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящем документе представлены рекомендации по применению вероятностной оценки риска в пожарно-техническом анализе зданий. Данный подход может использоваться для демонстрации соответствия нормативным, страховым или другим требованиям. Вероятностная оценка риска, аналогично пожарно-техническому анализу для зданий, является развивающимся направлением. Как и в случае с областью проектирования и сферой рисков, модели и данные не могут в полной мере описать реальные обстоятельства, в связи с чем требуется официальное заключение относительно утверждения или неутверждения проекта. Это заключение должно быть основано на самых современных и полных имеющихся фактах и доказательствах.

Настоящий документ может использоваться при проектировании новых и оценке существующих зданий. Вероятностная оценка риска может применяться в сочетании документами серии PD 7974 и другими руководствами. Также вероятностная оценка риска может использоваться для подтверждения методов, отличающихся от подходов, представленных в других руководствах.

Настоящий документ является руководством по вероятностному анализу риска и представляет 7-ю часть серии документов PD 7974, выпущенных в дополнение к британскому стандарту BS 7974 «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил». В документе изложены общие принципы и методы анализа риска, предназначенные для проведения пожарно-технического анализа, перечислены условия, при которых следует использовать данный подход, и приведены примеры реализации данных принципов.

Настоящий документ также содержит данные, необходимые для вероятностной оценки риска, и критерии оценки. Приведенные данные основаны на статистике пожаров, параметрах здания и показателях надежности систем противопожарной защиты. Критерии оценки включают безопасность людей и защиту имущества – как в абсолютных, так и в сравнительных показателях.

Настоящий документ не является руководством по методам выявления опасных факторов или качественному анализу риска.

Вероятностная оценка пожарного риска в зданиях (за исключением предприятий ядерной или химической промышленности, нефтяных платформ и транспортных сооружений) не является широко распространенной, поэтому в данном документе обсуждаются дальнейшие перспективы разработки данного направления.

## 2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### 2.1 Термины и определения

В данном документе используются нижеприведенные термины и определения.

2.1.1 **Принцип ALARP: минимальный практически приемлемый риск (*ALARP, As Low As Reasonably Practicable*)** – ситуация, при которой предпринимаются все разумные меры по снижению рисков в допустимых пределах до момента, когда затраты на его снижение непропорционально высоки по сравнению с ожидаемым повышением уровня безопасности.

2.1.2 **Оценка (*assessment*)** – проведение исследования с целью получения обоснованного заключения.

2.1.3 **Эксплуатационная готовность (*availability*)** – готовность системы выполнять требуемую функцию при заданных условиях в заданный момент времени или в течение установленного периода времени при наличии необходимых внешних ресурсов.

2.1.4 **Взаимосвязанный отказ (*common mode failure*)** – отказ, являющийся результатом события (событий), которое, вследствие взаимозависимостей, вызывает совпадение состояний отказа компонентов в двух или более отдельных каналах избыточной системы и ведет к невозможности конкретной системы выполнять ее требуемую функцию.

2.1.5 **Условная вероятность (*conditional probability*)** – вероятность события, обусловленная возникновением предшествующего события.

2.1.6 **Последствия (*consequences*)** – степень тяжести последствий в результате какого-либо события.

2.1.7 **Детерминированный (*deterministic*)** – основанный на физических закономерностях, выведенных из научных теорий и практических результатов, которые для заданного набора исходных условий всегда дают один и тот же результат.

2.1.8 **Разнообразие (*diversity*)** – одинаковое выполнение функции двумя или более независимыми и разными способами.

2.1.9 **Событие (*event*)** – происходящее или уже произошедшее явление, состоящее из нескольких взаимоисключающих событий.

2.1.10 **Экстремальное значение (*extreme value*)** – статистическая методология, предметом которой является распределение вероятностей больших и малых значений.

2.1.11 **Причина отказа (*failure cause*)** – обстоятельства при проектировании, производстве или эксплуатации, которые привели к отказу.

2.1.12 **Характер отказа (*failure mode*)** – прогнозируемые или наблюдающиеся последствия причины отказа определенного элемента в зависимости от условий эксплуатации на момент отказа.

2.1.13 **Пожарная опасность (*fire hazard*)** – ситуация, представляющая потенциальную угрозу жизни или здоровью, и/или опасность нанесения материального ущерба вследствие пожара.

2.1.14 **Частота (*frequency*)** – вероятность возникновения события за какой-либо промежуток времени.

2.1.15 **Опасность (*hazard*)** – потенциально опасная для здоровья человека ситуация.

2.1.16 **Индивидуальный риск (*individual risk*)** – частота, с которой человек может подвергаться определенной степени опасности причинения вреда здоровью при реализации определенных опасных факторов.

2.1.17 **Иницилирующее событие (*initiating event*)** – событие, ведущее к другим событиям и одному или более результатам.

2.1.18 **Техническое обслуживание (*maintenance*)** – совокупность всех технических и организационных мероприятий, включая надзор, направленных на поддержание объекта в надлежащем для выполнения его требуемой функции состоянии, или приведение его в таковое.

2.1.19 **Средняя наработка на отказ (*MTBF, Mean Time Between Failures*)** – отношение суммарного времени функционирования оборудования к числу отказов.

2.1.20 **Результат (*outcome*)** – результат последовательности событий.

2.1.21 **Распределение вероятностей (*probability distribution*)** – математическая функция, выражающая зависимость вероятности события от значения случайной переменной.

2.1.22 **Вероятностная модель (*probabilistic model*)** – методология статистического определения вероятности и результата событий.

2.1.23 **Сценарий (*scenario*)** – совокупность обстоятельств и/или последовательность событий при пожаре, которая является правдоподобной и в достаточной степени предсказуемой.

2.1.24 **Избыточность (*redundancy*)** – наличие более одного способа выполнения функции.

2.1.25 **Надежность (*reliability*)** – способность элемента выполнять требуемую функцию в заданных условиях в течение заданного периода времени.

2.1.26 **Выявленная неисправность (*revealed fault*)** – неисправность, которая становится очевидной при отказе элемента выполнять требуемую функцию.

2.1.27 **Риск (*risk*)** – вероятность возникновения опасности причинения ущерба и степень тяжести ущерба.

2.1.28 **Риск для жизни и здоровья (*risk to life and health*)** – предполагаемая тяжесть травм или количество человеческих жертв при пожаре, выраженные в показателях вероятности как результат:

- предполагаемой частоты возникновения нежелательного события при определенной технической эксплуатации или состоянии; и
- опасности для жизни и здоровья.

2.1.29 **Безопасность (*safety*)** – отсутствие недопустимого риска причинения ущерба.

2.1.30 **Социальный риск (*societal risk*)** – соотношение между частотой возникновения событий и числом людей в данной группе, подвергающихся определенной степени опасности причинения вреда здоровью при реализации определенных опасных факторов.

2.1.31 **Стохастическая модель (*stochastic model*)** – методология оценки результата событий в зависимости от времени, выраженного в показателях вероятности.

2.1.32 **Допустимый (приемлемый) риск (*tolerable risk*)** – максимальный уровень риска в здании, признанный допустимым соответствующим надзорным органом.



### 3. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 3.1 Общие положения

##### 3.1.1 Что такое вероятностная оценка риска?

Вероятностная оценка или анализ риска (от англ. *Probabilistic risk assessment, PRA*) – это общий термин, применяемый к исследованиям, целью которых является измерение риска. Риск рассматривается как вероятность возникновения совокупности определенных последствий. Соответственно, результатом вероятностной оценки риска являются численные данные, отражающие уровень опасности, угрожающей людям или имуществу, и указывающие на степень вероятности возникновения данной опасности. В практическом смысле это означает, например, что более вероятное событие с низкой тяжестью последствий должно рассматриваться на одном уровне с менее вероятным событием с высокой тяжестью последствий.

Все методы вероятностной оценки риска основаны на простом принципе, заключающемся в том, что риск – это зависимость последствия и частоты возникновения опасности (см. рис. 2). В некоторых исследованиях оценка риска будет ограничиваться данным принципом. В других исследованиях понятие риска может рассматриваться более широко при исследовании взаимодействия нескольких событий. Остальные более сложные методы оценки могут использоваться для решения вопросов, возникающих из-за отсутствия полных данных.

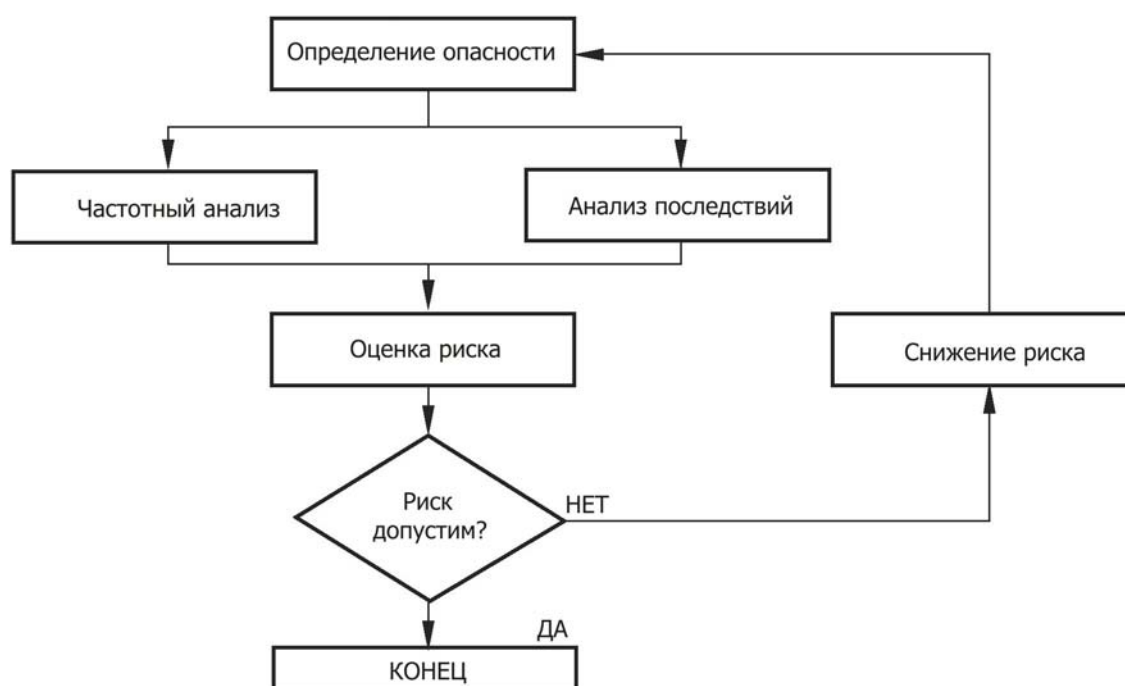


Рис. 2. Общий подход к вероятностной оценке пожарного риска

Основы вероятностной оценки риска были заложены в перерабатывающей промышленности и сфере финансовых услуг. Методы, на сегодняшний день использующиеся в пожарной безопасности, прежде использовались для оценки широкого диапазона рисков – от безопасности на атомных электростанциях, до прогнозирования выплат по страхованию жизни. Вероятностная оценка риска на протяжении нескольких лет используется для оценки пожарной безопасности, хотя опыт ее применения в данной сфере еще довольно мал.

##### 3.1.2 Каким образом вероятностная оценка риска может использоваться для решения задач пожарной безопасности?

Последствия пожара могут быть тяжелыми. В огне можно лишиться жизни или имущества. Традиционные методы пожарной безопасности исходят из стандартного допущения, что пожар начался. Затем следует рост пожара, который приводит к ряду последующих событий. Например, может допускаться, что в результате существенного задымления пожарная лестница становится заблокированной, или что очаг возгорания находится в помещении и, таким образом, блокирует один из выходов. Данный подход приемлем для «типового здания» и является основой предписывающих строительных норм.

Пожарно-технический анализ, как и предписывающие строительные нормы, предполагает, что при возникновении пожара огонь будет распространяться дальше. Однако в отличие от предписывающих строительных норм, пожарно-технический анализ рассматривает проблему распространения пожара более детально. То, каким образом пожар развивается и взаимодействует с конструкцией здания и находящимися в нем людьми, подвергается более подробному анализу, который учитывает параметры отдельных зданий или сценариев. Такой подход является более гибким, чем предписывающий подход. Однако стандартный «детерминированный» пожарно-технический анализ предполагает использование определенных допущений (в основном

завышенных) о том, каким образом будет происходить развитие сценариев пожара.

С помощью вероятностной оценки риска пожарно-технический анализ может быть проведен вне детерминированных моделей, в которых за основу принимается определенный набор допущений, путем оценки последствий пожара не только исходя из последствий, но также с учетом вероятности возникновения данной совокупности последствий. В этом случае целью является более подробное моделирование реальных зданий и реальных пожаров.

Например, многие пожары, даже возникшие в результате поджога, могут погаснуть или быть потушены, прежде чем они станут представлять существенную опасность для жизни людей или имущества. Детерминированный пожарно-технический анализ не будет учитывать этот факт (вместо этого будет предполагаться, что возгорание произошло, и пожар продолжает расти). Детерминированная модель, к примеру, может допускать, что спринклеры сработали, и пожар находится под контролем. Модель, основанная на вероятностной оценке риска, в свою очередь, будет рассматривать возможность отказа спринклеров и учитывать последующие за этим события.

Вероятностная оценка риска позволяет улучшить детерминированные методы пожарно-технического анализа, принимая во внимание неопределенности и давая оценку с учетом дополнительного коэффициента вероятности. Это вводит ряд полезных дополнений в пожарно-технический анализ. В качестве основного примера можно привести анализ разнообразных систем, предназначенных для достижения одной цели (например, механическая и естественная дымовытяжные системы – обе предназначены для удаления дыма из пожарного отсека). В детерминированной модели будет сделано допущение, что система сработала и, при соблюдении правил проектирования, данная модель покажет, что одни и те же условия задымления будут являться результатом работы механической или естественной вентиляционных систем.

Вероятностная оценка риска может более детально определить разницу между двумя системами и сформировать «данные об отказах» для обеих систем. Следовательно, в то время как обе системы могут создать идентичные условия в случае пожара при безотказном срабатывании, одна из систем может оказаться более надежной, чем другая. Данный тип исследования известен как сравнительный анализ, и широко используется, вероятно, потому что он является естественным дополнением к более субъективным подходам.

Вероятностная оценка риска может использоваться как при сравнительном анализе, так и при абсолютном анализе. Абсолютный анализ заключается в исследовании, при котором не предпринимается сопоставление двух ситуаций, но рассматривается выполнение одной ситуации в зависимости от заданных условий (например, вероятность гибели человека в случае возникновения пожара в том или ином офисном здании). Абсолютный анализ используется довольно редко, так как в случае его применения специалисты и эксперты по вероятностной оценке риска должны рассматривать вероятность (а, при использовании вероятностной оценки риска, неизбежность) нежелательного события. При классическом (и, вероятно, наиболее спорном) абсолютном анализе жизнь оценивается в денежном эквиваленте, и затем проводится исследование с целью определения допустимого количества смертельных случаев за заданный период времени, исходя из суммы страховых выплат в конкретной организации.

### 3.1.3 Каковы ограничения по применению вероятностной оценки риска?

Как основной метод вероятностная оценка риска практически не имеет ограничений и, теоретически, может использоваться при решении любых задач пожарно-технического анализа для всех типов зданий и проектов. При таком широком применении вероятностной оценки риска логично было бы ожидать продуктивных результатов. Однако применение вероятностной оценки риска может быть значительно ограничено в зависимости от доступных данных.

Как правило, детерминированные и предписывающие методы пожарно-технического анализа позволяют заполнить пробелы между недостающими и доступными данными, используя подход, основанный на расчетах с запасом. Данный подход не может использоваться в исследованиях вероятностной оценки риска. Такие сложные математические методы, как теория экстремальных значений, применяются для получения недостающих данных. Однако в более простых исследованиях недостаток данных может серьезно затруднить применение вероятностной оценки риска.

## 3.2 Применение вероятностной оценки риска в пожарно-техническом анализе

При применении пожарно-технического анализа в большинстве случаев вполне достаточно детерминированного анализа, чтобы продемонстрировать приемлемость проекта. Кроме того, для проведения полной вероятностной оценки риска требуется много времени и средств, поэтому в некоторых ситуациях ее применение становится нецелесообразным. Применение вероятностной оценки риска является целесообразным в следующих случаях:

- 1) при наличии переменных входных параметров;
  - 2) в случае если наблюдается существенное различие между применением альтернативных и стандартных решений; и/или
  - 3) последствия разрушения вследствие пожара слишком серьезны.
- Вероятностная оценка риска применяется с целью:
- а) определения и выбора сценариев пожара при детерминированном анализе;
  - б) определения входных данных при детерминированном пожарно-техническом анализе;
  - в) частичного анализа или анализа конкретных частей раздела пожарной безопасности проекта здания; и/или
  - г) полного анализа раздела пожарной безопасности проекта здания.

Данный список областей применения вероятностной оценки риска не является исчерпывающим. Более

подробно вышеуказанные четыре сферы применения описаны в пунктах 3.3, 3.4, 3.5 и 3.6 соответственно.

Вероятностная оценка риска может использоваться на любой стадии пожарно-технического анализа после завершения Качественного анализа проекта (от англ. *Qualitative Design Review, QDR*). Вероятностная оценка риска может использоваться как часть анализа любой или всех подсистем.

### **3.3 Определение и выбор сценариев пожара для детерминированного анализа**

Проектирование пожарной безопасности, как правило, включает в себя определение важных параметров проекта здания (например, группы назначения и высоты здания над уровнем грунта), а также определение набора противопожарных мероприятий для достижения приемлемого решения. Для детерминированного пожарно-технического анализа необходимо определить совокупность обстоятельств, подходящих для анализа [сценарий/сценарии]. В сценарии учитываются такие параметры, как расчетный пожар (масштаб и скорость развития пожара), количество людей в здании, а также противопожарные системы, которые должны сработать, и противопожарные системы, которые, в целях анализа, должны не сработать. Задача состоит в оценке сценария с достаточно тяжелыми последствиями с целью определить допустимость или недопустимость решения. В качестве примера можно привести исследование HAZOP – исследование опасности и работоспособности (от. англ. *HAZard and OPerability*), используемое в перерабатывающей промышленности.

Например, при полном анализе раздела пожарной безопасности берется значение 19-го перцентиля двадцати факторов подряд и потенциально анализируется событие с вероятностью  $10^{-20}$ . Если бы критерием допустимости была индивидуальная вероятность гибели человека при пожаре, равная  $10^{-6}$ , то данный сценарий явно являлся бы неприемлемым.

### **3.4 Определение входных данных для детерминированного анализа**

Процесс проектирования пожарной безопасности осложняется тем, что отдельные входные переменные имеют сугубо вероятностный характер. Например, теплота горения полимерного материала, при строгом контроле состава и процесса производства данного материала, может быть определена и повторно получена с относительно небольшими отклонениями. При пожарно-техническом анализе такие параметры могут рассматриваться как четко определенные вследствие их относительно низкой вариативности. В то время как другие параметры могут значительно варьироваться в зависимости от типа здания и условий.

Например, количество людей в здании или скорость роста пожара могут значительно варьироваться даже при небольших изменениях таких параметров, как время суток или конфигурация здания соответственно. При детерминированном анализе используется достоверное и наиболее неблагоприятное значение этих параметров, чтобы подтвердить, что анализ дает ошибку в сторону запаса. При наличии данных этот тип входной переменной также можно определить путем установления ограничивающей вероятности ее превышения, как и в случае с перцентилями распределения пожарной нагрузки, используемыми при оценке пределов огнестойкости конструкций.

### **3.5 Анализ определенных аспектов пожарной безопасности при проектировании зданий**

Сопоставление альтернативных решений по проектированию пожарной безопасности редко является прямым, поскольку различные системы пожарной безопасности, как правило, функционируют по-разному. Они могут иметь различные:

- а) уровни функционирования;
- б) показатели отказа по требованию; и/или
- в) последствия отказа.

Например, для отдельного здания может быть предложено решение с одним большим противопожарным отсеком, оснащенным спринклерной системой, вместо решения с несколькими небольшими противопожарными отсеками и отсутствующей спринклерной системой пожаротушения. В отношении возможной мощности пожара, без учета воздействий тушения пожара первичными средствами и вмешательства пожарной команды, эти два решения будут значительно различаться. В первом случае, при срабатывании спринклерной системы, огонь должен быть относительно небольшим, однако, в случае отказа спринклерной системы, огонь может полностью охватить большой пожарный отсек. И напротив, если, в случае решения в пользу небольших пожарных отсеков, деление на отсеки сохраняется, то огонь распространится только на один небольшой отсек, а в случае разрушения одной из перегородок противопожарного отсека, он может охватить два небольших пожарных отсека (исключая случаи взаимосвязанного отказа). Вероятностная оценка риска может применяться для оценки эквивалентности двух данных решений, с учетом их предполагаемого функционирования, вероятностей отказа и/или последствий их отказа.

### **3.6 Анализ общей картины пожарной безопасности при проектировании зданий**

Для некоторых зданий потенциальные последствия пожара могут быть настолько значительными в отношении целей пожарной безопасности (таких как безопасность жизни и непрерывность деятельности), что единственным способом рационального рассмотрения их пожароопасности является проведение полной вероятностной оценки пожарного риска всего здания. Исторически к таким зданиям относят сооружения, связанные с ядерными или химическими процессами. После пожаров на станции метро «Кингс Кросс» и на нефтяной платформе «Пайпер Альфа» в данную группу также стали включать транспортные сооружения и нефтяные платформы. Все чаще к данной категории относят стратегически важные объекты, такие как аэропорты и цен-

тры управления полетами. Как правило, вероятностная оценка риска в данных обстоятельствах выполняется в соответствии с утвержденной процедурой определения опасности (такой как исследование HAZOP – исследование опасности и работоспособности). Она формирует часть мер безопасности для сооружения и выражается в виде частоты возникновения нежелательного события.

## 4. КРИТЕРИИ ДОПУСТИМОСТИ

### 4.1 Общие положения

При вероятностной оценке риска критерии задаются таким образом, чтобы вероятность данного нежелательного события была допустимо низкой, или минимальной практически приемлемой (в соответствии с принципом ALARP). Критерии допустимости различаются в зависимости от поставленных задач пожарной безопасности. Критерии для анализа безопасности людей будут отличаться от критериев для анализа непрерывности деятельности. Подобным образом будут отличаться критерии допустимости в зависимости от принятого аналитического подхода. Критерии оценки абсолютных уровней риска будут отличаться от критериев сравнительного анализа риска.

**Таблица 1. Типовые виды критериев допустимости**

Метод анализа	Цели пожарной безопасности	
	Безопасность людей	Финансовые
Сравнительный	Уровень риска эквивалентный решению, соответствующему нормам, например AD B	Сопоставление вариантов проектных решений (техно-экономический анализ)
Абсолютный	Количество пострадавших в год	Среднее допустимое значение потерь в год

### 4.2 Сравнительные критерии

Часто бывает сложно выразить уровень риска в абсолютных показателях. Тем не менее, продемонстрировать, что проект обеспечивает такой же уровень риска, как и в здании, которое соответствует более предписывающим нормам (по безопасности людей или финансам), может быть сравнительно легко. Поскольку исследование носит исключительно сравнительный характер, маловероятно, что какие-либо допущения или данные, касающиеся частоты возгорания или надежности систем, существенно повлияют на результат, что может быть подтверждено анализом чувствительности.

Прежде чем продемонстрировать, что решение предлагает тот же уровень риска, что и предписывающие нормы, необходимо четко определить цели данных норм. На этапе качественного анализа проекта (QDR), должны быть рассмотрены цели каждой проектной рекомендации, поскольку некоторые положения могут иметь несколько целей. Для рассмотрения отдельных основополагающих целей могут быть разработаны альтернативные проектные решения. Инженер по пожарной безопасности должен показать, что предложенное решение будет, по крайней мере, таким же эффективным как и при традиционном подходе.

### 4.3 Абсолютные критерии

#### 4.3.1 Безопасность людей

Абсолютные допустимые критерии безопасности людей могут быть поделены на две категории: индивидуальные и социальные.

Индивидуальный риск представляет собой частоту, с которой индивид может понести определенный ущерб при возникновении опасных факторов. Обычно этот вид риска связан с определенным образом жизни. В рамках пожарной безопасности, это может быть индивидуальный риск человека, работающего в производственном или офисном здании, или покупателя, посещающего предприятие розничной торговли один раз в неделю.

Социальный риск представляет собой соотношение между частотой возникновения событий и числом людей в данной группе, подвергающихся определенной степени опасности причинения вреда здоровью при реализации определенных опасных факторов. Показатель социального риска важно учитывать, поскольку общество особенно остро реагирует на бедствия, приводящие к многочисленным жертвам. Социальный риск может быть выражен частотой, с которой десять или более людей погибнут при пожаре в общественном здании. Показатель социального риска, как правило, значительно ниже, чем уровень индивидуального риска.

Другим важным фактором допустимости риска является степень его произвольности или непроизвольности, то есть степень, в которой индивид, подвергаемый риску, может регулировать уровень риска. К примеру, люди, находящиеся у себя дома, в гораздо большей степени способны регулировать уровень риска при пожаре, чем люди, остановившиеся в гостинице.

В отношении безопасности людей, риски могут считаться допустимыми по двум основным причинам.

Риск, связанный с пожаром, может быть настолько мал по сравнению с другими видами рисков, что он может считаться незначительным.

Если риск, связанный с пожаром, является существенным, то противопожарные характеристики здания должны снижать риск до такой степени, при которой он может рассматриваться как приемлемый. Для того, чтобы этот подход имел силу, затраты на дальнейшее снижение риска должны значительно превосходить итоговое снижение риска. Иными словами, риск, связанный с пожаром, должен быть минимальным практически приемлемым (в соответствии с принципом ALARP).

Кроме того, существует значение, при котором, независимо от противопожарных характеристик здания, уровень риска вследствие пожара, настолько велик, что он ни при каких условиях не может рассматриваться

как приемлемый и может быть признан только неприемлемым. При уровнях пожарного риска, превышающих это значение, единственным способом достижения допустимости риска является снижение уровня риска.

Уровни риска отдельных представителей общества, работающих на крупных промышленных предприятиях:

- а) максимальный допустимый риск на отдельного представителя общества (количество смертельных случаев в год) составляет  $10^{-4}$
- б) общий допустимый риск на отдельного представителя общества (количество смертельных случаев в год) составляет  $10^{-6}$

Уровни социального риска при разрушении конструкции здания вследствие пожара:

- а) риск для 10 или более смертельных случаев на каждое здание в год составляет  $5 \times 10^{-7}$ ;
- б) риск для 100 или более смертельных случаев на каждое здание в год составляет  $5 \times 10^{-8}$ .

Вышеприведенные виды рисков имеют по большей части произвольный характер, исключая тот факт, что деятельность, с которой они связаны, приносит пользу для общества в целом.

Средние уровни рисков для ряда типов зданий (за 1995-1999 годы), по количеству смертельных случаев на каждое здание в год и количеству смертельных случаев на пользователя здания в год, представлены в таблице 2. В соответствии с данными, содержащимися в таблице 2, наряду с другими данными, уровень индивидуального риска для отдельного представителя общества при пожарах, случающихся на месте проживания пострадавших, составляет  $10^{-5}$  смертельных случаев в год, а при пожарах, случающихся в других местах, –  $10^{-6}$  смертельных случаев в год. Применение данных к пожарам с многочисленными жертвами приводит к значениям социального риска равным  $10^{-8}$  на пользователя здания в год при пожаре с десятью или более жертвами и  $10^{-9}$  при пожаре с сотней и более жертв.

Однако в настоящее время не существует общепринятых абсолютных критериев в отношении пожарной безопасности, поскольку правительство Соединенного Королевства и Северной Ирландии нацелено на значительное сокращение числа смертельных случаев, травм и ущерба вследствие пожаров. Требуется подтверждение соответствующих надзорных органов, что предлагаемый уровень риска является минимальным практически приемлемым (в соответствии с принципом ALARP). Следовательно, любые абсолютные критерии, используемые при вероятностном анализе, должны быть значительно ниже вышеприведенных значений.

При сопоставлении расчетного уровня риска с каким-либо критерием важно учитывать допущения, принятые в исследовании. Если расчетный уровень риска едва соответствует абсолютному критерию, то следует принять меры, чтобы убедиться, что допущения, принятые в исследовании, дают ошибку в сторону запаса.

**Таблица 2. Количество смертельных случаев на здание и на пользователя здания**

Тип здания	Количество зданий	Количество людей в здании	Среднее значение/год [95/97/98/99]				
			Количество смертельных случаев	Количество травм	Количество пожаров	Жертвы/здание/год	Жертвы/пользователь здания/год
Учреждения дальнейшего образования	1 051	845 617 <sup>a</sup>	0,0	17	535	$< 2,4 \times 10^{-4}$	$< 3,0 \times 10^{-7}$
Школы	34 731	10 503 100 <sup>a</sup>	0,0	51	1 669	$< 7,2 \times 10^{-6}$	$< 2,4 \times 10^{-8}$
Лицензированные заведения (имеющие разрешение на продажу спиртных напитков)	101 081	—	2,8	262	3 317	$2,7 \times 10^{-5}$	—
Дома отдыха	45 049	—	1,3	48	2 581	$2,8 \times 10^{-5}$	—
Магазины	354 475	—	3,3	284	5 671	$9,2 \times 10^{-6}$	—
Гостиницы	28 371	389 174 <sup>a</sup>	2,5	116	1 021	$8,8 \times 10^{-5}$	$6,4 \times 10^{-6}$
Общезижития	9 829	—	0,5	60	1 338	$5,1 \times 10^{-5}$	—
Больницы	3 486	—	3,3	113	3 063	$9,3 \times 10^{-4}$	—
Пансионаты	29 080	—	4,5	130	1 616	$1,5 \times 10^{-4}$	—
Офисные здания	209 627	4 107 000 <sup>b</sup>	0,3	219	1 988	$1,2 \times 10^{-6}$	$7,3 \times 10^{-8}$
Производственные предприятия	170 972	—	4,3	286	5 299	$2,5 \times 10^{-5}$	—
все вышеперечисленные учреждения	987 752	15 844 891	22,5	1 584	28 096	$2,3 \times 10^{-5}$	$6,5 \times 10^{-6}$
Примечание: целесообразно использовать значение количества смертельных случаев на пользователя в отношении крупных и сложных зданий.							
<sup>a</sup> Количество людей в здании приравнивается к сумме числа служащих и других пользователей.							

#### 4.3.2 Оценка финансовых рисков

Организация или предприятие с присущими ему объемом капитальных вложений, конкурентоспособностью, объемом страховой ответственности, планами на случай непредвиденных обстоятельств и т.д. вправе решать, способно ли оно допускать определенный уровень потерь и сбоев в деятельности с определенной периодичностью. Эти данные, как правило, выражаются в показателях финансовых потерь за годовой период или в виде уровня финансовых потерь и частоты (или периодичности).

Методы, представленные в данном документе, позволяют производить оценку риска повреждений в результате пожара. Полученные данные могут в дальнейшем использоваться для оценки потенциального денежного ущерба и позволяют провести технико-экономический анализ с целью определить относительную стоимость установки дополнительных или альтернативных противопожарных систем.

Эти финансовые критерии, в отношении уровней потерь и сбоев в деятельности, должны быть установлены совместно с заинтересованной организацией и/или финансирующей организацией или страховой компанией.

#### 4.3.3 Другие цели

Другие цели пожарной безопасности могут включать защиту объектов, представляющих культурно-историческую ценность и защиту окружающей среды. Критерии допустимости пожарного риска могут быть предоставлены в соответствующих руководствах как явно, так и косвенно. Часто абсолютные критерии отсутствуют. В таком случае, они могут быть приняты только с согласия всех соответствующих регулирующих органов и заинтересованных лиц.

## 5. СТАНДАРТНЫЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ

### 5.1 Общие положения

В связи с неопределенностью факторов пожарной безопасности в зданиях, данные факторы могут рассматриваться как недетерминированные случайные явления. В целом в этом заключается применение вероятностного подхода к оценке пожарного риска и оценке требований к противопожарной защите здания. Данный подход главным образом включает три типа моделей, в которых вероятности входят в вычисления непосредственно:

- а) простой статистический анализ;
- б) анализ логического дерева и/или
- в) анализ чувствительности.

Данные модели рассмотрены более подробно в пп. 5.2 и 5.4. Более сложные модели и другие, менее распространенные типы анализа, рассмотрены в главе 6. При необходимости могут использоваться дополнительные типы анализа, или вариации на представленные типы анализа, таким образом, способы, описанные в главах 5 и 6, не исключают применения альтернативных форм вероятностной оценки пожарного риска. Данные приведены в главе 7.

### 5.2 Простой статистический анализ

#### 5.2.1 Общие положения

Статистический анализ представляет собой основу большей части вероятностной оценки пожарного риска, начиная от расчета частоты возгорания до оценки условной вероятности отказа системы противопожарной защиты. Статистический анализ использует данные, накопленные при пожарах в зданиях, и преобразует их в информацию, которая может использоваться для прогнозирования вероятности событий в будущем. Он может принимать разную форму: от простой оценки средней вероятности возникновения события в группе зданий за определенный период времени, вплоть до комплексного регрессионного анализа.

Преимущества статистического анализа заключаются в том, что он основан на фактических событиях, и его результаты, как правило, просты в применении. Однако статистический анализ основан на усредненных ретроспективных данных, таким образом, предполагается, что эффективность работы систем противопожарной защиты может быть спрогнозирована, исходя из прошлого опыта, а полученное усредненное значение может быть применено к конкретному зданию. Данные допущения в большинстве своем обоснованы, и в большинстве случаев неопределенность при проведении оценки риска, основанной на ретроспективных данных, меньше, чем в случае, когда вероятность отказа различных противопожарных мер, предусмотренных в проекте здания, не учитывается вовсе.

Другое ограничение статистического анализа заключается в том, что часто невозможно собрать достаточное количество данных для прямого и точного прогнозирования событий с низкой частотой и высокой тяжестью последствий, таких, как пожары, с многочисленными жертвами, на которые особенно остро реагирует общество. Статистические данные гораздо более применимы для анализа более частых событий, таких как возгорание и условная вероятность успешной реализации или отказа противопожарных мер. Эти отдельные фрагменты информации могут впоследствии использоваться для прогнозирования частоты событий с низкой частотой, при помощи логического дерева событий и других методов.

#### 5.2.2 Частота воспламенения

Частота воспламенения является одним из ключевых параметров в большинстве случаев при вероятностной оценке риска. Как правило, она представляет собой инициирующее событие в подавляющем количестве деревьев событий и может являться основополагающим событием в дереве отказов.

Статистические исследования показали, что частота воспламенения приблизительно рассчитывается следующим уравнением:

$$F_i = aA_b^b, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – константы для конкретного типа здания, связанные с его назначением, а  $A_b$  обозначает общую площадь здания.

Параметр  $a$  включает в себя отношение числа пожаров  $n$  за период времени к числу зданий  $N$ , подверженных риску, (см. главу 6), в то время как  $b$  показывает рост величины  $F_i$  при увеличении  $A_b$ .

Значение, равное единице, для параметра  $b$  показывает, что вероятность начала пожара прямо пропорциональна площади здания; что также подразумевает, что все части здания подвержены одинаковой степени риска возгорания. Данное предположение не является справедливым, поскольку разные части здания имеют различные по количеству и типу источники возгорания. Следовательно, вероятность возникновения пожара практически не имеет тенденции к росту в прямой пропорции с размерами здания, поэтому значения параметра  $b$  скорее всего будет составлять меньше единицы. При рассмотрении двух зданий, площадь одного из которых вдвое превышает площадь другого, вероятность возникновения пожара в здании большей площади будет превышать вероятность возникновения пожара в здании меньшей площади менее чем в два раза. Данные теоретические доводы подтверждаются результатами актуарных исследований частоты страховых выплат в зависимости от финансовой величины (размера) застрахованного риска.



Численные значения параметров  $a$  и  $b$  для большинства типов зданий были определены исходя из статистики пожаров в Великобритании и по материалам специального исследования и представлены в Приложении А, Таблица А.1. Для всех сооружений обрабатывающей промышленности Великобритании с общей площадью здания  $A_b$  ( $m^2$ ) были установлены значения параметров  $a$  и  $b$ , равные 0,0017 и около 0,53 соответственно. Актуарные исследования в некоторых европейских странах подтверждают, что численное значение  $b$  составляет около 0,5 для промышленных зданий. Для конкретного здания "глобальная" величина  $F_i$ , приведенная в уравнении (1), может быть преобразована с помощью процедуры, описанной в п. 6.2.1. Отношение числа пожаров к числу зданий, подверженных риску, представляет суммарную величину вероятности возникновения пожара, нескорректированную по площади здания (см. таблицу А.2). По данным за период от 1968 до 1970 года для всех сооружений обрабатывающей промышленности Великобритании было установлено численное значение риска возникновения пожара, равное 0,092, на каждое предприятие в год; предприятие может включать несколько зданий. Оценка вероятности возникновения пожара в соответствии с площадью здания также представлена в виде числа пожаров на единицу площади (см. таблицу А.3). Нужно отметить, что количественные данные, представленные в таблицах А.1, А.2 и А.3 довольно устарели, однако на сегодняшний день они являются наиболее пригодными из всех существующих данных.

#### 5.2.3. Вероятная степень распространения пожара и повреждения площади

Вероятная площадь повреждения при пожаре в здании, где произошло возгорание, может оцениваться с учетом различных категорий распространения пожара и вероятностей, связанных с обстоятельствами распространения пожара. Статистика пожаров в Великобритании позволяет классифицировать степень распространения пожара следующим образом:

- а) распространение пожара, ограниченное первичным очагом возгорания;
- б) распространение пожара за пределы первичного очага возгорания, но ограниченное помещением, где произошло возгорание;
  - 1) только содержимое помещения;
  - 2) включая элементы конструкции здания;
- в) распространение пожара за пределы помещения, но ограниченное зданием, в котором произошло возгорание.

Пожары, распространившиеся за пределы здания, где произошло возгорание, не были включены в приведенную выше классификацию. В таблицах А.4 и А.5 приведены примеры, демонстрирующие вероятную (среднюю) площадь повреждения для каждой категории распространения пожара, наряду с их относительной частотой. В случае со зданиями, оборудованными спринклерными системами пожаротушения, процентные данные включают одну треть пожаров в данных зданиях, которые, как было установлено, были потушены противопожарными системами, но не были зарегистрированы местными пожарными подразделениями. Предполагается, что эти небольшие пожары были ограничены первичным очагом возгорания.

#### 5.2.4 Частотное распределение повреждения площади при пожаре

В таблицах А.4 и А.5 приведены приблизительные оценки вероятного повреждения площади, превышающей среднее значение повреждений для каждой категории распространения пожара. На производственной территории здания текстильной промышленности, например, в оборудованном спринклерами помещении площадью более  $5,1 m^2$  вероятность площади повреждения составляет 0,28; вероятность повреждения площади, превышающей  $13,5 m^2$ , составляет 0,10, а вероятность повреждения площади, превышающей  $112,9 m^2$ , составляет 0,04. В случае, если помещение не оборудовано спринклерами, вероятность повреждения для помещений площадью более  $4,8 m^2$ ,  $16,8 m^2$  и  $474,6 m^2$  будет составлять 0,57, 0,25 и 0,12 соответственно. Подобные количественные данные могут использоваться при моделировании частотного распределения площади повреждения.

Однако более точное распределение частоты площади повреждения может быть получено при помощи необработанных данных, полученных из статистики пожаров, составленной министерством внутренних дел Великобритании. Примеры исследований, основанных на этих данных, представлены в таблицах А.6, А.7 и А.8. Количественные данные для помещений, оборудованных спринклерными системами пожаротушения, для категории повреждения  $1 m^2$  и менее, включают одну треть пожаров, потушенных при помощи спринклерных систем и не зарегистрированных пожарными подразделениями. Как рассмотрено далее, в п. 6.2.2, распределение вероятностей Парето было соотнесено с этими данными для обеспечения оценки параметров  $\lambda$  и  $m$ , приведенных в последних двух строчках таблиц. Данное распределение использовалось для того, чтобы более точно установить вероятность повреждения, превышающего заданный уровень или превышающего площадь пожарного отсека.

#### 5.2.5 Повреждения и площадь здания или помещения

Для конкретного здания, принадлежащего к определенному типу, вероятная площадь повреждения при пожаре может приблизительно оцениваться по степенной функции:

$$A_d = c A_b^d, \quad (2)$$

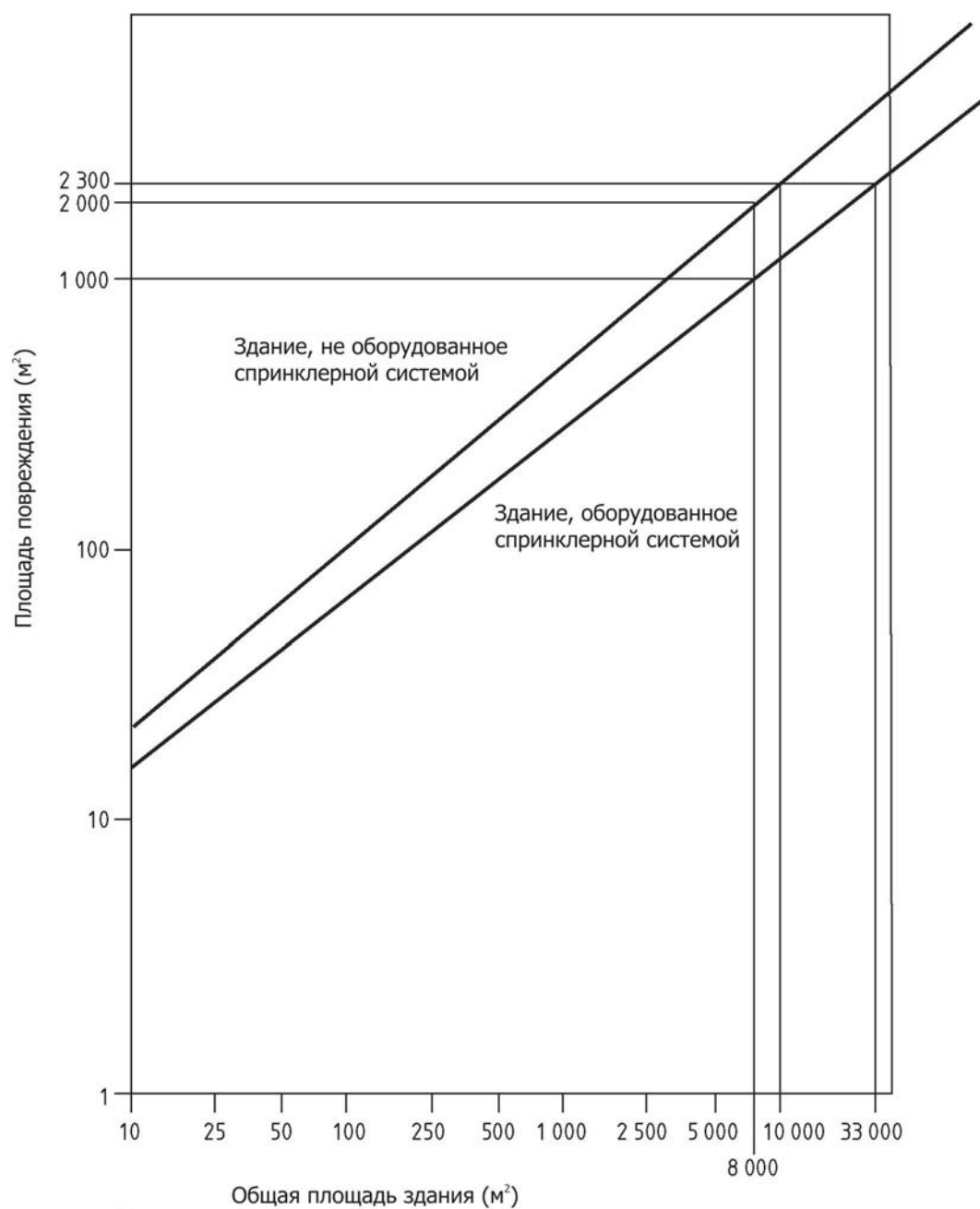
где  $A_b$  – общая площадь здания, как и в уравнении (1), а  $c$  и  $d$  – константы для конкретного типа здания. Численные значения  $c$  и  $d$  для основных групп зданий могут быть установлены на основе данных исследования (см. таблицу А.9). Произведение уравнений (1) и (2) представляет собой оценку риска возникновения пожара в здании с площадью  $A_b$ , выраженного из расчета в год.

Доказано, что вероятность обнаружения и ликвидации пожара до его полного распространения несколько выше в крупном здании, чем в небольшом здании. Следовательно, ожидаемая доля разрушений в более крупном здании будет меньше, чем в небольшом здании. Эти доводы позволяют предположить, что степень повреждения ( $A_d / A_b$ ) снижается при увеличении численного значения  $A_b$ ; иными словами, численное значение  $d$  будет составлять меньше единицы. Этот результат основан на статистических и актуарных исследованиях, упомянутых выше.

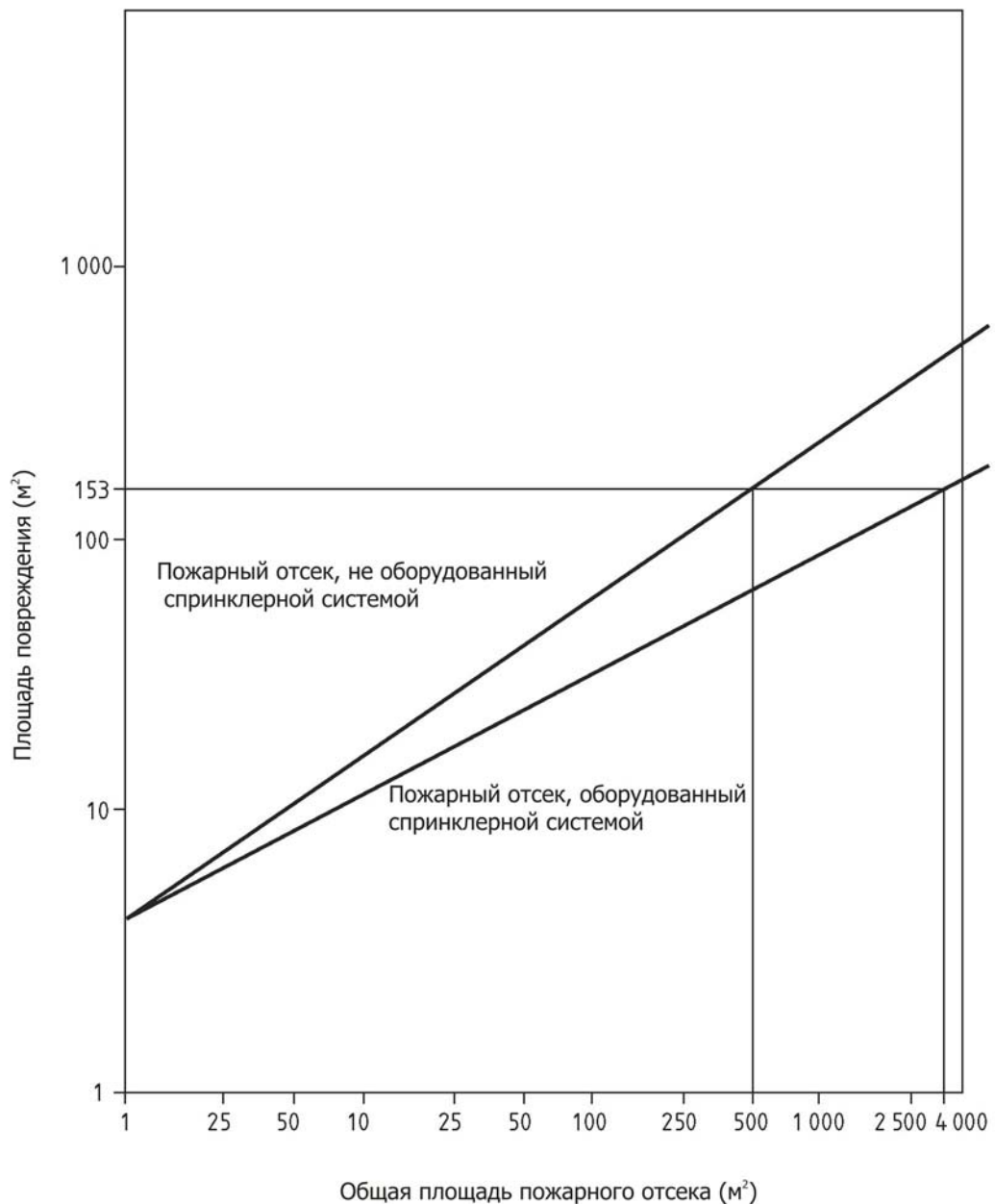
Обеспечение противопожарных мер в здании снизит степень повреждения и численное значение  $d$ . В исследовании было установлено, что при  $A_b$ , выраженном в метрах квадратных, и  $c = 2,25$ , значение  $d$  для промышленных зданий, не оборудованных спринклерными системами, будет равно 0,45. Для промышленного здания, оборудованного спринклерной системой пожаротушения, с общей площадью 1500 м<sup>2</sup>, было установлено среднее значение площади повреждения, равное 16 м<sup>2</sup>. Данные числа, подставленные в уравнение (2) позволяют получить значение  $d$  равное 0,27 для промышленного здания, оборудованного спринклерной системой пожаротушения, при условии, что значение  $c (= 2,25)$ , обозначающее исходные условия, является одинаковым для зданий, оборудованных и не оборудованных спринклерными системами пожаротушения.

В качестве примера рассмотрим данные, представленные на рис. 3, которые относятся к зданию площадью 8000 м<sup>2</sup>. Максимальная площадь повреждения в данном здании (в наихудшем случае) при пожаре составит 1000 м<sup>2</sup>, если здание оборудовано спринклерной системой, и 2000 м<sup>2</sup>, если спринклерная система в здании отсутствует. Согласно данным показателям, при  $c = 4,43$ , значение  $d$  составит 0,60 для зданий, оборудованных спринклерными системами, и 0,68 для зданий, не оборудованных спринклерными системами соответственно. На рис. 3 представлены соотношения между площадью повреждения и площадью здания. Данный рисунок может применяться для расчета зданий с площадью более 105 м<sup>2</sup>. Если максимально допустимая площадь повреждения составляет 2300 м<sup>2</sup>, то максимальная площадь предприятия текстильной промышленности не должна превышать 10000 м<sup>2</sup>, если здание данного предприятия не оборудовано спринклерами. При наличии в здании спринклерных систем пожаротушения его максимальная площадь может быть расширена до 33000 м<sup>2</sup>; однако, с учетом установленной вероятности отказа срабатывания (ненадежности) спринклерной системы при пожаре, равной 0,1, допустимая площадь здания может сократиться до 28000 м<sup>2</sup>.

Например, данные, представленные на рис. 4 относятся к пожарному отсеку площадью 800 м<sup>2</sup>. При помощи уравнения (2) и значений максимальной площади повреждения, составляющих 75,1 м<sup>2</sup> и 197,4 м<sup>2</sup>, в случае распространения пожара внутри помещения, получаем значения  $d$ , равные 0,42 и 0,57, для зданий, оборудованных и не оборудованных спринклерными системами пожаротушения соответственно. На рис. 3 представлено соотношение между размерами пожарного отсека и площадью повреждения здания. Данный рисунок может применяться для расчета пожарных отсеков с площадью более 32 м<sup>2</sup>. Согласно данному рисунку, площадь повреждения пожарного отсека, оборудованного спринклерной системой, площадью 4000 м<sup>2</sup>, будет эквивалентна площади повреждения отсека, не оборудованного спринклерной системой, площадью 500 м<sup>2</sup>. Допустимый размер пожарного отсека, оборудованного спринклерной системой пожаротушения, может быть сокращен до 3000 м<sup>2</sup> с учетом вероятности ( $= 0,1$ ) отказа срабатывания спринклерной системы при дальнейшем развитии пожара после стадии «установившегося режима горения».



**Рис. 3. Площадь повреждения и площадь здания, текстильная промышленность**



**Рис. 4. Площадь повреждения и площадь пожарного отсека, текстильная промышленность**

#### 5.2.6 Финансовый ущерб

Финансовый ущерб при пожаре может оцениваться таким же образом, как площадь повреждения. Если предполагается, что финансовая величина  $V$ , на которую распространяется риск в здании и его содержимом, равномерно распределена по его площади, то финансовый ущерб  $V^d$  при пожаре определяется следующим уравнением, в соответствии с уравнением (2):

$$V_d = c' V^d \quad (3)$$

Если  $V = (V/A_b)$  является плотностью на метр квадратный общей площади здания, тогда:

$$c' = c \bar{V}^{-d}$$

Уравнение (1) может трансформироваться аналогичным образом:

$$F_v = a' V^b \quad (4)$$

где:

$$a = a' \bar{V}^{-b}$$

Уравнения (3) и (4) и их произведение используются при приблизительном расчете «рисковых премий» по страхованию от пожара. Площадь повреждения также может быть переведена в категорию финансового ущерба, используя приближенное значение ущерба от пожара на квадратный метр в уравнении (2). Улучшен-

ный вариант оценки  $A_d$  или  $V_d$  может быть получен посредством соответствующего распределения вероятностей (см. главу 6).

### 5.3 Древовидные логические схемы

#### 5.3.1 Общие положения

Для решения большинства практических проблем, касающихся противопожарной защиты, достаточно будет провести вероятностную оценку пожарного риска, основанную на древовидных логических схемах. Они предлагают простой метод оценки вероятности наступления нежелательного события (событий), известного как результат. Такие события включают в себя стадию возгорания (начала пожара), распространения огня за пределы очага и дым, вызывающий затемнение видимости на пути эвакуации. При таком подходе элементы события, ведущие к результату, определяются и располагаются в визуальном последовательном порядке. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет определено основное событие (или ряд основных событий), как правило, воспламенение, и не будут оценены вероятности, основанные на статистических данных. Далее, вероятности, ассоциированные с элементами событий, идут в логической последовательности, чтобы вывести вероятность наступления рассматриваемого результата. Расчет облегчается использованием логических диаграмм или дерева, которые представляют графический образец последовательности элементов событий.

Обычно различают два типа логических деревьев, используемых в вероятностной оценке пожарного риска: дерево событий и дерево отказов.

#### 5.3.2 Анализ дерева событий

Деревья событий являются наиболее полезными инструментами при недостаточном объеме информации о частоте результатов, которые не являются часто встречающимися, напр. многочисленные смерти от огня. Деревья событий могут быть использованы для прогнозирования частоты редких событий посредством логической связи ряда более частых мелких событий, информация о которых у нас есть.

Деревья событий строятся от исходного события (напр. возгорания) и, чтобы охватить все возможные результаты, определяются события, образующие ветви дерева, и линии развития, идущие от второстепенных (или ключевых событий). Некоторые результаты могут представлять слишком низкий уровень риска, некоторые – слишком высокий.

Построение дерева событий начинается с определения исходного события, ведущего к итоговому результату, посредством прохождения через ряд ветвей, представляющих собой возможные исходы различных серий событий. Рис. 5 представляет общее строение дерева событий, представляющего ряд результатов, идущих от исходного и через два ключевых события. Нужно учитывать, что дерево событий отражает фактический порядок событий в реальных пожарах и учитывают все ключевые события.

Частота, ассоциированная с каждой веткой дерева (результатом), представлена умножением исходного события  $F$  на произведение относительной условной вероятности положительного или отрицательного исходов ( $P_S$  и  $P_F$  соответственно). Например:

$$F_2 = F \cdot P_{S1} \cdot P_{S2}$$

Рис. 6 показывает, как дерево событий может быть применено на ранних стадиях пожара.

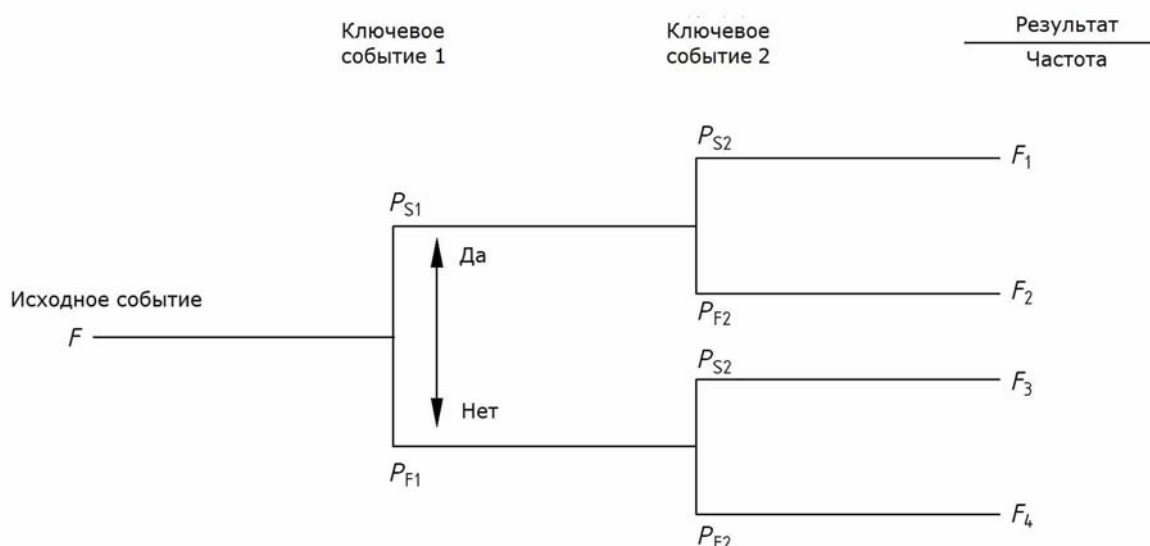
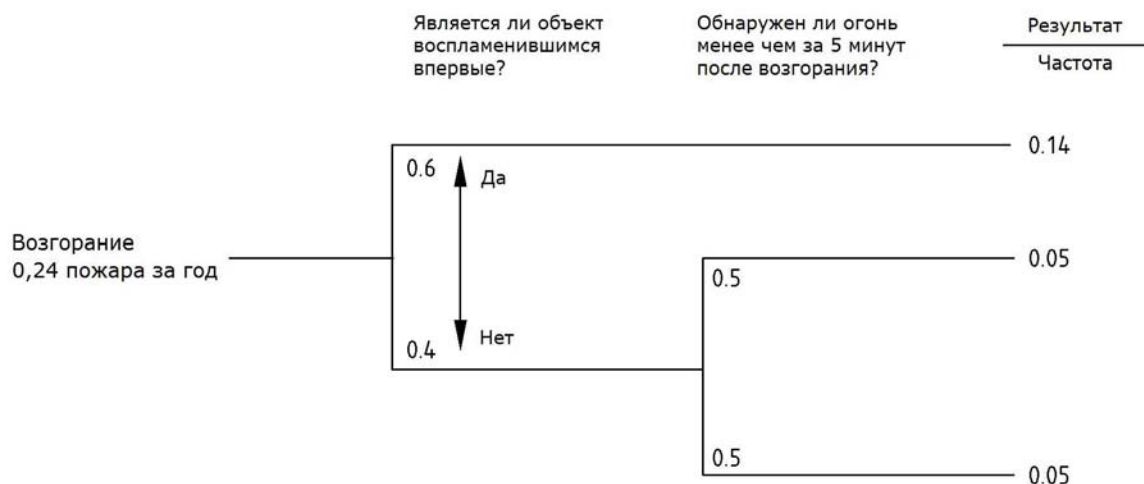


Рис. 5. Общее строение дерева событий



**Рис. 6. Дерево событий на ранних стадиях развития пожара**

Исходное событие – возгорание. Два ключевых события «ограничен ли пожар лишь очагом возгорания?» и «обнаружен ли огонь менее чем за 5 минут после возгорания?» Следующие результаты в порядке убывания:

- а) пожар есть лишь там, где произошло возгорание, но он не распространяется за пределы объекта возгорания;
- б) пожар, который распространяется за пределы объекта возгорания, но который обнаружен менее чем за 5 минут после возгорания;
- в) пожар, который распространяется за пределы объекта возгорания и который не обнаружен менее чем за 5 минут после возгорания.

Частоты результатов могут быть подсчитаны, как описано выше и обозначают что, если даже подобное возгорание может произойти лишь раз в 4 года, то частота случаев распространения и не обнаружения огня может составлять один раз в 20 лет. Данные выводы могут быть использованы для оценки преимущества материалов, замедляющих распространение огня и малораспространенных источников возгорания. Данное дерево событий также может быть использовано для того, чтобы показать, что альтернативная методика обнаружения огня равна нормативному решению. Нужно учитывать гарантию того, что условная вероятность первого ключевого события не включает события, которые могут следовать за вторым ключевым событием например тушение пожара первичными средствами.

#### 5.3.3 Пример вероятностной оценки пожарного риска с использованием дерева событий

##### 5.3.3.1 Общие положения

Данная под-глава показывает, как анализ дерева событий может быть использован как часть вероятностной оценки пожарного риска. Оценка пожарного риска может быть использована для определения стоимостной/рисковой составляющей противопожарных мероприятий для защиты имущества. Следующий пример является оценкой риска, проведенной для крупной компании автобусного перевозчика.

Данной компанией было проявлено внимание к бизнес-рisku, связанному с пожарами в автобусных гаражах. В особенности, компанию интересовало, нужно ли устанавливать систему спринклеров в их существующих гаражах или нужно ли вообще принимать какие-то меры. Проект стоил бы немалых денег, поэтому компания заказала анализ оценки выгод исходя из интересов защиты собственности.

Оценка риска включает (см. рис. 2):

- а) определение событий, ведущих к исследуемому результату;
- б) оценку частоты появления событий;
- в) оценку серьезности последствий результата; и
- г) оценку последствий уровня риска.

##### 5.3.3.2 Определение событий

Рассматриваемые события – это пожары, причиняющий значительный вред транспортным средствам и имуществу в автобусных гаражах. Исходя из опыта работы, натурных огневых испытаний и противопожарной оценки эти события были сведены к одному «самому тяжкому событию»: пожар на пассажирском месте в двухэтажном автобусе, припаркованном среди других автобусов.

Выбранный для анализа параметр риска представлял стоимостные убытки от пожаров за календарный год. Это позволяло автобусным перевозчикам поставить этот риск в контекст рисков предыдущих лет.

##### 5.3.3.3 Оценка частоты появления события

Для оценки частоты пожаров, были собраны данные о пожарах на автобусах прошлых лет. По причине того, что такие пожары случаются не слишком часто, то наблюдалась нехватка информации. Поэтому было создано дерево событий, чтобы воссоздать недостающую информацию.

Дерево событий – это логическая диаграмма, которая прогнозирует возможные результаты исходного события (см. рис. 7). Например, исходное событие «пожар на пассажирском сидении в нижнем салоне двухэтажного автобуса» может иметь последствия «ущерб менее 200 000 фунтов стерлингов» и «ущерб более 500 000 фунтов стерлингов». Вероятность каждого результата зависит от таких других факторов, как «Обна-

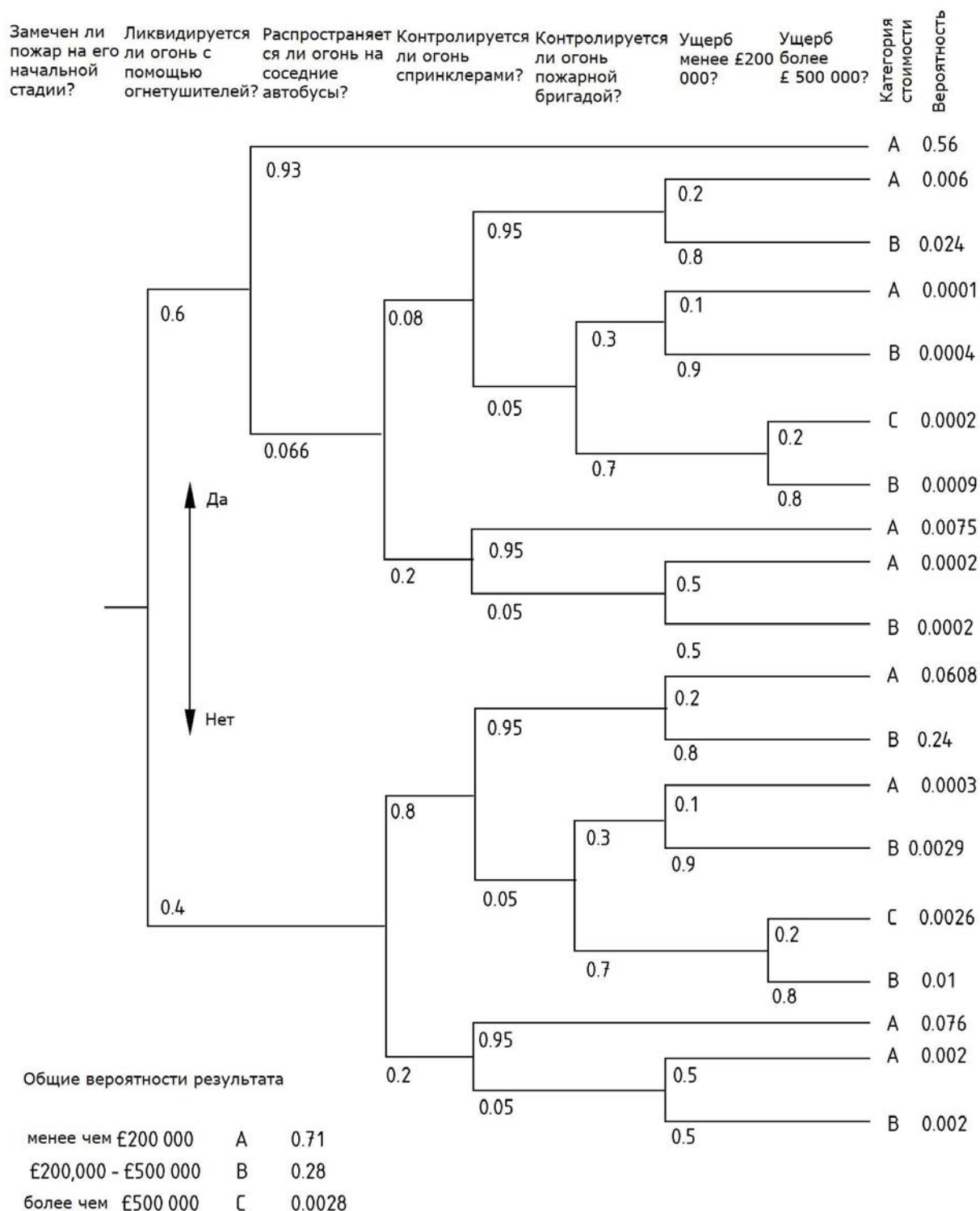
ружен ли пожар на его начальной стадии?», «Распространяется ли огонь на соседние автобусы?» или «Ликвидируется ли огонь с помощью огнетушителей?».

Условная вероятность каждого из этих факторов оценивается с использованием данных прошлых лет и экспертной оценки. Поэтому, используя вероятность исходного события и других факторов, оценка может включать частоту встречаемости события. Типичные данные могут быть найдены в таблице А.17.

#### 5.3.3.4 Оценка серьезности последствий результата

Существует несколько путей оценки серьезности последствий результата: исходя из информации предыдущих периодов, используя простые аналитические методы, используя компьютерные модели и/или используя всесторонние тесты. Каждый подход имеет свои плюсы и минусы. Информация предыдущих периодов описывает, каковыми были результаты в прошлом, но не отражает полную картину. Простые аналитические методы могут прогнозировать серьезность последствий исходя из стоимости ущерба, но ответ будет лишь в рамках предположений. Компьютерные модели могут спрогнозировать серьезность результатов более четко, но они более дорогие и их применение занимает больше времени. Пожалуй, наиболее точную оценку серьезности последствий дают всесторонние тесты, но они еще более затратные по времени и средствам.

В этом случае, серьезность результата (напр. потерь из-за сгоревшего автобуса/гаража) в большей степени зависела от распространения огня на другие автобусы и от эффективной плотности распыления струи разных спринклерных систем. Поэтому для прогноза роста/распространения огня и эффективности спринклеров была использована комбинация полных тестов и компьютерной модели.



**Рис. 7. Упрощенное дерево событий пожара в автобусном гараже**

#### 5.3.3.5 Результаты

Оценка риска показала, что при данном событии, для предотвращения распространения огня на соседние автобусы необходима более чем обычная плотность распыления струи спринклеров. Частоты пожаров в автобусных гаражах составляли 0,1 в год. Далее был подсчитан риск пожара для гаражей с/без спринклеров. Разница между двумя цифрами – это показатель выгоды сокращения потери имущества при установке спринклеров. Он составил 2 000 фунтов стерлингов в год (но варьировался от размера гаража).

Данные о происшествиях прошлых лет показывают, что прогнозируемый риск повреждения пессимистичен: было найдено совсем немного данных о повреждениях при подобных пожарах. Подсчитав выгоду уменьшения риска для автобусных гаражей со спринклерами, с помощью анализа затрат и результатов можно определять целесообразность данного вложения в пожарную безопасность.

#### 5.3.3.6 Сравнительный анализ затрат и результатов



Первый шаг был направлен на определение совокупных расходов на спринклерную установку, что включает в себя не только затраты на фактическую установку, но и годовые эксплуатационные расходы. Следующий список, хотя необязательно конечный, включает в себя основные затраты, составляющие эти расчеты:

- гонорар за проектирование;
- установка/встройка;
- ввод в эксплуатацию/обучение персонала;
- техническое обслуживание/эксплуатационные расходы и т.д.

Капитальные затраты на установку спринклерной системы составили 25 000 фунтов стерлингов со стоимостью годового технического обслуживания в 100 фунтов стерлингов. Прибыль от новой установки включает:

- снижение ущерба имуществу;
- снижение косвенных убытков;
- снижение страховых выплат;
- улучшение безопасности жизни, и т.д.

Размер прибыли из вычисленной оценки риска пожара были прибавлены к разнице в страховых выплатах, что дало суммарный размер прибыли в 2 500 фунтов стерлингов из расчета на один гараж в год.

Эта цифра используется в оценке капиталовложений. Следующая таблица показывает дисконтированные денежные потоки за 30 летний период. Используемый дисконтирующий множитель 10 % – это норма для торговых помещений и длится в течение 30 летнего эксплуатационного срока службы спринклерной системы. Финансовые показатели в таблице 3 не предоставлены каким-либо определенным гаражом или оператором, но могут быть типичными для некоторых.

**Таблица 3. Дисконтированные денежные потоки автобусного гаража после установки спринклерной системы**

	Год	Капитальные затраты £	Годовые затраты £/год	Итоговые затраты £/год	Экономия £/год	Чистая стоимость/Экономия £/год	Дисконтирующий множитель (10 %)	Чистый дисконтированный доход за- трат/Экономия £	Совокупный чистый дисконтированный доход
	0	25000	100	25000	0	25000	1	25000	25000
	1		100	100	-2500	-2400	0.909 1	-2182	22818
	2		100	100	-2500	-2400	0.826 5	-1983	20835
	3		100	100	-2500	-2400	0.751 3	-1803	19032
	4		100	100	-2500	-2400	0.683 0	-1639	17392
	5		100	100	-2500	-2400	0.620 9	-1490	15902
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	26		100	100	-2500	-2400	0.083 9	-201	3014
	27		100	100	-2500	-2400	0.076 3	-183	2831
	28		100	100	-2500	-2400	0.069 3	-166	2664
	29		100	100	-2500	-2400	0.063 0	-151	2513
	30		100	100	-2500	-2400	0.057 3	-138	2375
Все- го				28000	- 75000	- 47000		2375	
	Год	Капитальные затраты £	Годовые затраты £/год	Итоговые затраты £/год	Экономия £/год	Чистая стоимость/Экономия £/год	Дисконтирующий множитель (10 %)	Чистый дисконтированный доход за- трат/Экономия £	Совокупный чистый дисконтированный доход
	0	25000	100	25000	0	25000	1	25000	25000
	1		100	100	-2500	-2400	0.909 1	-2182	22818
	2		100	100	-2500	-2400	0.826 5	-1983	20835
	3		100	100	-2500	-2400	0.751 3	-1803	19032
	4		100	100	-2500	-2400	0.683 0	-1639	17392
	5		100	100	-2500	-2400	0.620 9	-1490	15902
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	26		100	100	-2500	-2400	0.083 9	-201	3014
	27		100	100	-2500	-2400	0.076 3	-183	2831
	28		100	100	-2500	-2400	0.069 3	-166	2664
	29		100	100	-2500	-2400	0.063 0	-151	2513
	30		100	100	-2500	-2400	0.057 3	-138	2375
Сум- ма				28000	- 75000	- 47000		2375	

Сравнительный технико-экономический анализ показал небольшой положительный чистый дискантиро-

ванный доход по истечении 30 лет. Положительная цифра указывает на то, что установка в автобусном гараже спринклерной системы не представляет собой хорошее вложение. Однако небольшой размер величины показывает, что это минимальный экономически эффективный пример.

В процессе оценки степени риска владелец автобусного парка решил, что у них достаточный избыток и разнообразие авторесурса за счет долевого владения (в некоторых гаражах), лизинга, закупок и страхования, и установка спринклеров в гараже не требовалась. Однако оценка риска обозначила некоторые другие области, требующие внимания, такие как внедрение управления пожарной безопасностью и необходимость отделения информационного центра, что являлось более экономически эффективным и было применено.

#### 5.3.3.7 Выводы

Оценка прибыльности установки спринклерной системы в автобусном гараже показала владельцу выгоду непрерывности коммерческой деятельности и защиты имущества. Однако технико-экономический анализ и план действий в чрезвычайных ситуациях установили отсутствие возможности выгодных затрат или последствий установки спринклеров в гаражах. Исходя из оценки риска, владелец установил другие системы обеспечения безопасности и меры по предупреждению пожара.

#### 5.3.4 Анализ дерева отказов

Дерево отказов ищет причины, лежащие в основе имеющегося итогового события, путем логичного возвращения к исходным событиям. Дерево отказов – это графическое изображение логических отношений между нежелательным конечным событием и событиями первичной причины.

Создание дерева отказов начинается с определения конечного события, выявленного на стадии идентификации опасности. Дерево строится методом расстановки различных причин в правильном последовательном порядке. Обычно это осуществляется путем движения назад от конечного события к событиям, их причинам возникновения, условиям и сбоям (отказам), которые могли привести к данному конечному событию, в процессе движения назад эти события становятся фактически вторичными конечными событиями и так далее. Этот процесс продолжается и завершается тогда, когда финальное множество базовых (или основных) событий, отказов или условий будут составлять ветви дерева. Вероятности входят в группу основных событий.

События в дереве ошибок соединены логическими элементами, которые показывают, какая комбинация его составляющих может вызвать определенное конечное событие. В основном это И элементы, в которых должны произойти все составляющие события, а также ИЛИ элементы, в которых только одному из составляющих событий необходимо произойти, чтобы послужить возникновению определенного конечного события. Вероятность возникновения конечного события вычисляется с помощью булевой алгебры. Простые деревья отказов могут быть вычислены напрямую булевой алгеброй. Более сложные деревья отказов требуют установления «минимальных прерывающих совокупностей» или «путевых совокупностей» методами булевой редукции. Рис. 8 показывает простое дерево ошибок и использование логических элементов И и ИЛИ. Для ускоренного использования сложного дерева ошибок используется компьютерное программное обеспечение.

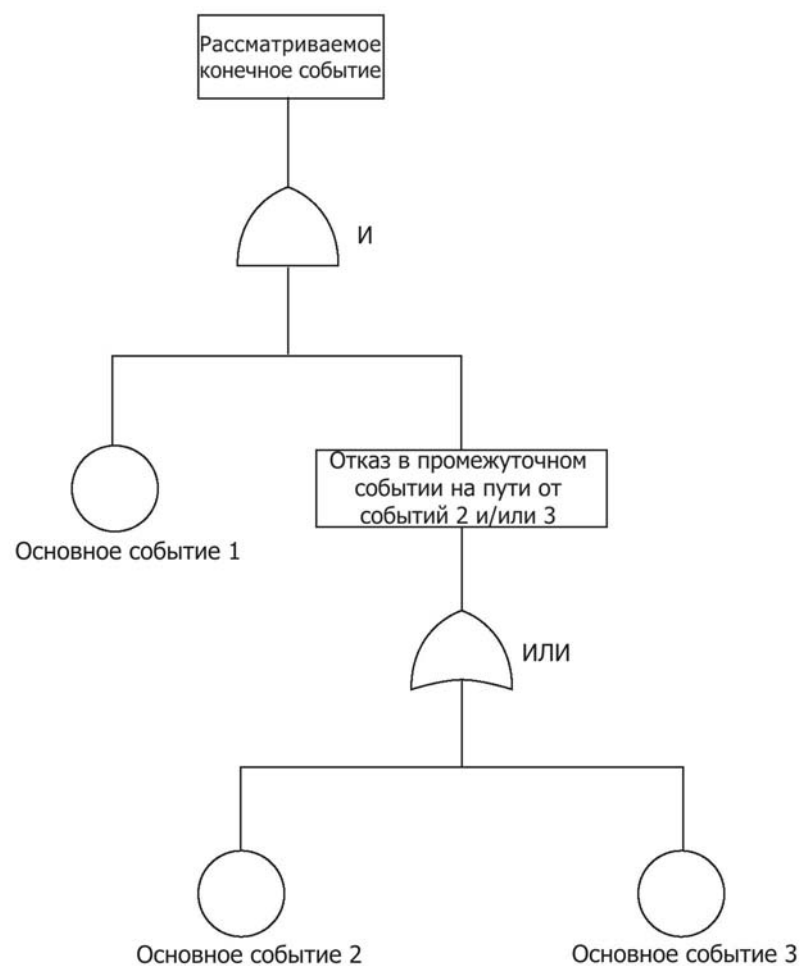
Пример простого дерева отказов, применимый в обнаружении пожара, дан на рис. 9. В нем конечным событием является «отказ обнаружения огня в течение 5 минут с момента возгорания». Причины этого конечного события прослеживаются через четыре основных причины, для которых собираются данные.

Элементы ИЛИ обычно вычисляются разностью суммы основных вероятностей и произведения основных вероятностей.

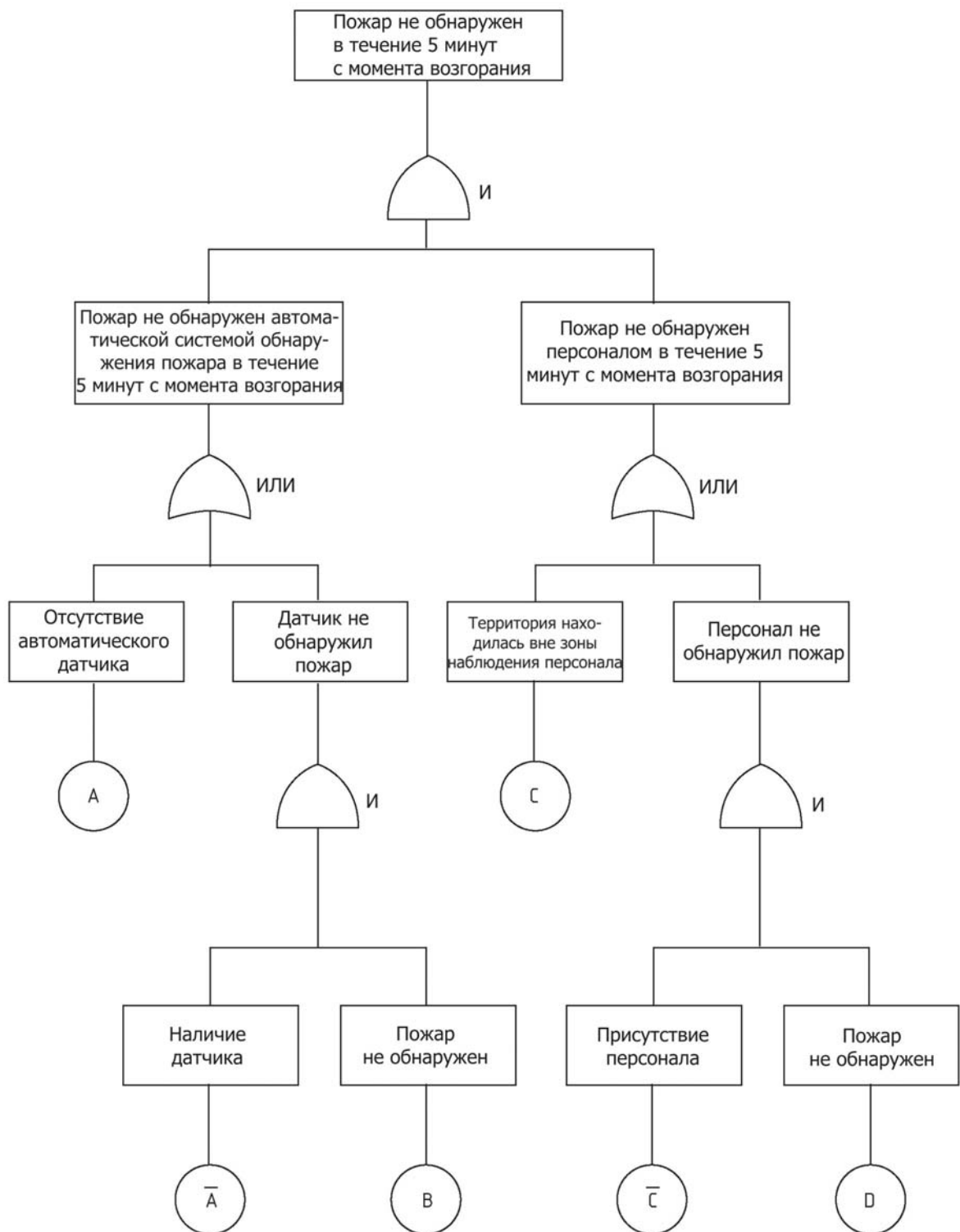
$$P_{OR} = (P_A + P_B) - P_A P_B$$

Элементы И вычисляются произведением основных вероятностей. Конечные события дерева отказов очень часто могут обеспечивать условные вероятности для дерева событий.

$$P_{AND} = P_A P_B$$



**Рис. 8. Общий вид дерева отказов**



**Рис. 9. Дерево отказов для анализа ситуации, когда пожар не обнаружен в течение 5 минут с момента возгорания**

#### 5.4 Анализ чувствительности

Анализ чувствительности может быть использован, чтобы вывести практические выводы в первом случае, или для оценки надежности решения, принятого на основании вероятностной оценки риска.

Вероятностная оценка риска, как и все пожарно-технические исследования, использует методы анализа и данные для ответа на вопросы по проектированию пожарной безопасности. Методы анализа и данные могут содержать упрощающие допущения и ограничения, и как следствие, могут не воспроизводить детали фактических событий. Однако если из анализа следуют значимые выводы, они должны быть достаточно репрезентативны для принятия правильного проектного решения пожарной безопасности.

Если результаты вероятностной оценки риска находятся в пределах критериев допустимости, можно не производить анализ чувствительности. Если, тем не менее, результаты вероятностной оценки риска почти равны критериям допустимости, тогда варианты переменных могут иметь существенное влияние на выводы исследования, и для оценки этого необходимо производить анализ чувствительности.

Первый шаг анализа чувствительности – это определение переменной (-ых), которая может иметь самое сильное влияние на результаты анализов. Переменные могут быть определены следующим образом:

- а) те, маленькое изменение которых усугубляется в силу роли данных переменных в уравнении или анализе; и/или
- б) те, величина которых подвергается существенной изменчивости и неопределенности.

Например, переменная, которая имеет в уравнении численное значение в степени  $1/3$ , может не иметь большого влияния на конечные результаты анализа. Варианты другой переменной, которая в уравнении стоит в 4-й степени, может иметь существенное влияние на результаты анализа. Если переменная является единственной в уравнении или используется несколько раз в анализе, то она тоже может иметь существенное влияние на результаты анализа.

Переменные, определенные как потенциально имеющие существенное влияние на результат анализа, могут быть исследованы следующими способами:

- а) единичная переменная с альтернативным значением;
- б) единичная переменная в диапазоне значений;
- в) многоточечная оценка множества переменных.

Анализ чувствительности единичной переменной с альтернативным значением является самым простым подходом. Данный анализ, обычно более трудозатратный, производится повторяющимися действиями с альтернативными значениями, в ходе чего оценивается надежность выводов анализа. Если критерии оценки удовлетворены, то далее результаты анализа подтверждаются.

Часто анализ чувствительности, основанный на единичном альтернативном значении, является в малой степени результативным. В таком случае используется анализ чувствительности переменной с диапазоном значений. Анализ повторяется, и создается график, изображающий варианты результатов анализа по отношению к значениям переменной. Это дает намного большее понимание отношения между переменной и результатом вычислений анализа. Если результаты анализа противоречат критериям допустимости, тогда может быть установлен критический показатель переменной, и может быть сделана оценка его последствий.

Существуют продвинутые методы анализа чувствительности позволяющие менять за раз более чем одну переменную. При применении данных методов результаты могут быть представлены в форме таблицы, или же, после применения регрессивного анализа, в виде математического выражения.

## 6. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ

### 6.1 Общие положения

Стандартные подходы, описанные в главе 5, это подходы, к которым обращаются при возникновении наиболее распространенных вопросов риска при пожарно-техническом анализе. В большинстве из них содержатся упрощающие допущения, что подходит не для всех случаев. Некоторые вопросы требуют применения более сложной модели анализа, поэтому в главе 6 описаны шесть типов моделей для использования при анализе более сложных вопросов:

- а) прочие статистические модели;
- б) анализ надежности;
- в) стохастические модели;
- г) анализ методом Монте-Карло;
- д) частичные коэффициенты запаса;
- е) Бета-метод.

Данные модели описаны в пунктах 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 и 6.7. Другие приведенные выше типы анализа или их вариации могут использоваться при необходимости. Таким образом, информация, описанная в главах 6 и 7 не должна исключать использование альтернативных форм вероятностной оценки пожарного риска.

### 6.2 Другие статистические модели

#### 6.2.1 Частота возгорания

Подпункт 5.2.2 ссылается на упрощенный метод определения частоты возгорания. Данный метод может учитывать изменения (разброс) частоты возгорания на каждом из отдельных участков площади в сравнении со средней площадью, но он не учитывает изменений в здании в целом.

В данном подпункте представлен метод учета изменений в здании (кроме общей площади), но данный метод может потребовать использования обширных статистических исследований или дополнительных данных.

Вероятность начала случайного пожара (т.е. не в случае поджога) в здании будет зависеть от наличия или отсутствия причин или источников пожара, которые можно разделить на две большие группы: причины или источники пожара, связанные с человеческим фактором и не связанные с ним.

К первой группе, главным образом, относятся игры детей с огнем, например, со спичками, невнимательность людей при выбрасывании спичек и обращении с принадлежностями для курения и ненадлежащая эксплуатация электроприборов и бытовой техники.

Ко второй группе относятся дефекты или неисправные контакты и соединения в бытовых приборах, использующих электричество, газ и другие виды топлива. Бытовые приборы, в свою очередь, можно классифицировать в соответствии с их назначением — приготовление еды, обогрев помещения, центральное отопление и др. Данная группа также включает ряд причин пожара, таких как механический нагрев или искры в промышленных зданиях, природные явления и спонтанное возгорание. Некоторые материалы в здании могут воспламеняться даже при наличии низкоэнергетического тлеющего источника, например, такого, как латексная пена резина или мелкий порошкообразный каучук.

Вид и число источников возгорания и материалов различаются в различных частях здания. Например, в здании промышленного предприятия, можно выделить три основных типа площади: производственный участок, склад и прочие площади. Если здание охвачено пожаром, условная вероятность, отражающая относительный или сравнительный риск, вследствие различных причин на разных площадях здания оценивается на основе данных групповой статистики, таких как представлены в таблице А.10. В данном случае условная вероятность, к примеру, вследствие дымления материалов на складах продукции/материалов, равна 0,0129 (= 15/1162).

Условные вероятности, основанные на количественных данных, приведенных в таблице А.10, относятся к «типовому» или «эталонному» зданию рассматриваемого типа или категории риска. Для конкретного здания любого типа или категории риска оценка условной вероятности (при пожаре)  $i$ -ой причины в  $j$ -ой части здания задана как:

$$I_{ij} P_{ij}, \quad (5)$$

где  $P_{ij}$  — вероятность для данной причины и части здания, полученная из количественных данных, представленных в таблице А.10.

Если  $i$ -ая причина полностью отсутствует в  $j$ -ой части здания, рассматриваемой на предмет оценки риска, параметру  $I_{ij}$  будет присвоено значение ноль. Если  $i$ -ая причина присутствует, параметру  $I_{ij}$  следует присвоить положительное значение, в зависимости от степени ответственности данной причины за начало пожара в  $j$ -ой части здания; данное значение может быть больше единицы. Значение, равное единице, может быть присвоено в случае, если здание в этом отношении подобно «типовому зданию».

Применение данного метода было продемонстрировано на примере пожаров, вызванных невнимательным обращением с принадлежностями для курения. Для рассмотрения данной причины, уравнение (5) может корректироваться с учетом таких факторов, как зоны для курения и меры оповещения людей о пожарном риске в результате данной причины. Значение, присвоенное параметру  $I_{ij}$ , субъективно, и его точность зависит от степени и точности соответствующей информации, используемой в расчетах.

Необходимо установить каждую возможную причину или источник возгорания в каждой рассматриваемой части здания и рассчитать значение параметра  $I_{ij}$ . Совокупная вероятность начала пожара в здании в таком случае равна:

$$P_{ign} = J \sum_i \sum_j I_{ij} P_{ij}, \quad (6)$$

где  $J$  — вероятность начала пожара в здании общей площадью  $A_b$  (в  $m^2$ ), вычисленная по уравнению (1). Значение, выраженное двойным сложением в уравнении (6), может быть больше или меньше единицы, в зависимости от степени наличия или отсутствия различных причин в здании. Данное значение будет равно единице только в случае, если рассматриваемое здание приблизительно соответствует средним характеристикам основной массы пользователей зданий в отношении причин или источников возгорания. Расчет параметра  $J$  обсуждается ниже.

Совокупная вероятность [уравнение (6)] может быть больше или меньше  $J$ . Данный распределительный подход используется при оценке пожарного риска на атомных электростанциях. Для любого типа здания вероятность начала пожара  $J$  увеличивается с ростом числа источников возгорания, и поэтому площадь здания выражается исходя из его общей площади  $A_b$  ( $m^2$ ). Расчет  $J$  для любых промежутков времени может быть выполнен по следующей формуле:

$$J = \frac{n}{N} \frac{p_n}{p_N}, \quad (7)$$

где  $n$  — число пожаров за определенный период времени,  $N$  — число зданий, подверженных риску,  $p_n$  — количество зданий размером  $A_b$ , охваченных пожаром за данный период времени, и  $p_N$  — количество зданий размером  $A_b$ , подверженных риску.

Параметры  $n$  и  $p_n$  могут быть установлены на основе статистики пожаров, а для оценки  $N$  и  $p_N$  требуется проведение специальных исследований. Существует возможность проанализировать другие статистические данные для получения приближенных значений  $N$  и  $p_N$ . Например, распределение производственных участков в соответствии с количеством работников на предприятии описано в ежегодном издании «Бизнес монитор» («The Business Monitor»), публикуемом Службой национальной статистики Великобритании. Данную информацию можно сочетать с расчетом средней площади, которую занимает каждый конкретный человек. Если доступна информация по всем параметрам,  $J$  можно рассчитать проведением простого регрессивного анализа при помощи логарифмов значений с обеих сторон уравнения (7). Перед проведением данного анализа необходимо рассчитать  $p_N$  и  $p_n$  как функции  $A_b$ . Приближенное значение  $J$  представлено величиной  $F_i$  в уравнении (1).

#### 6.2.2 Распределение вероятностей ущерба

Характер распределения вероятностей ущерба  $X$  рассматривается в других изданиях. Согласно данным исследованиям, распределение ущерба от пожара является асимметричным (отличным от нормального), и, в целом, преобразованная переменная  $Z$  (равная  $\ln X$ ) имеет распределение вероятностей  $F(Z)$ , которое принадлежит к «экспоненциальному типу». Данный тип был описан Гамбелом со ссылкой на предельное (асимптотическое) поведение случайной переменной на «хвосте» (в области больших отклонений). Данный тип включает следующие виды распределений: экспоненциальное, нормальное, логарифмически нормальное,  $\chi^2$ -распределение, гамма-распределение и логистическое распределение. Среди данных типов распределений нормальное и экспоненциальное распределения для  $Z$  рекомендуются специалистами по страховой математической статистике (актуариями), чье мнение основано на анализе данных, связанных с требованиями по страхованию от пожара. Эти данные также соотносятся с распределением Парето и логарифмически нормальным распределением для ущерба  $X$  на первоначальной шкале.

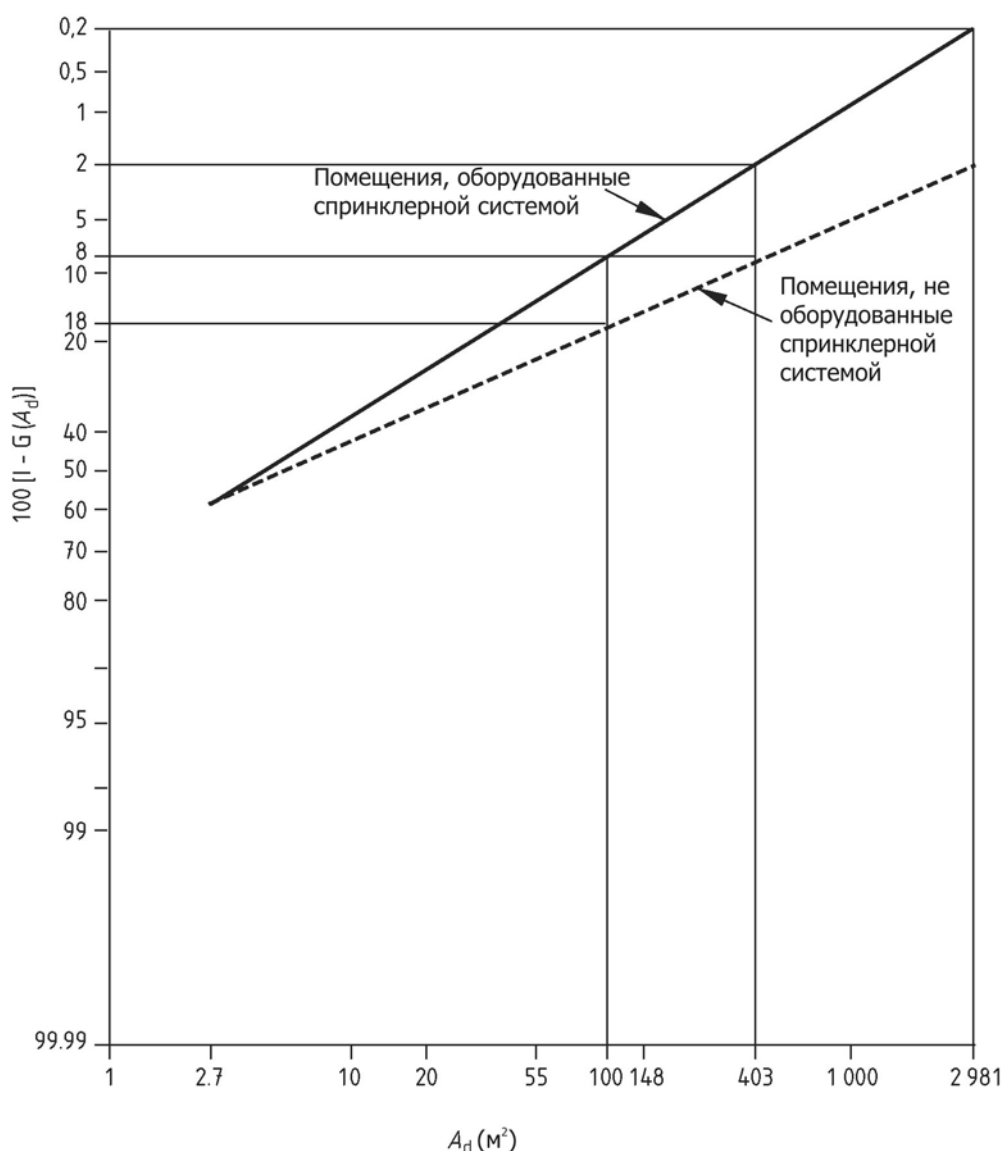
При наличии количественных данных о финансовом ущербе по всем пожарам, произошедшим в какой-либо категории риска, для оценки распределения вероятностей могут применяться стандартные статистические методы или графический метод в зависимости от данных, подвергнутых анализу. Однако, в большинстве стран подобная информация, как правило, доступна только относительно крупных пожаров. Крупным пожаром в Великобритании в настоящее время считается пожар, имущественный ущерб от которого составляет 50000 фунтов стерлингов и более. Пороговый уровень, составлявший до 1973 года 10000 фунтов стерлингов, постепенно возрастал в результате инфляции и необходимости сохранять число крупных пожаров в отчетах страховых компаний на поддающемся контролю уровне. Данное обстоятельство привело к разработке статистических моделей с экстремальным значением, обсуждаемых в следующем подпункте.

Однако, вероятностное распределение для величины поврежденной площади  $A_d$  может быть установлено при наличии данных о значительном числе пожаров. Вероятность того, что значение площади повреждения будет меньше или равно заданной величине  $A_d$ , определяется величиной  $G(A_d)$ , а вероятность того,

что значение площади повреждения превысит заданную величину  $A_d$ , выражается величиной  $[1 - G(A_d)]$ .

Рис. 10 основан на данных пожарных подразделений и иллюстрирует отношение (на примере предприятий текстильной промышленности) между величинами  $A_d$  и  $[1 - G(A_d)]$  для зданий, оборудованных и не оборудованных спринклерами. Величина  $A_d$  представлена в логарифмическом масштабе, так как данная случайная переменная, как и финансовый ущерб, имеет асимметричное распределение вероятностей, такое как логарифмически нормальное распределение. Величины параметров данного распределения разнятся в зависимости от типа здания и эффективности мер противопожарной защиты.

Согласно рис. 10, существует вероятность первичного повреждения площадью  $3 \text{ м}^2$  до того момента, когда количество теплоты, вырабатываемое при пожаре, становится достаточным для активации спринклерной системы пожаротушения. Для обоих типов зданий вероятность повреждения, превышающего  $3 \text{ м}^2$ , составляет 0,58. Очевидно, что на площади, превышающей  $3 \text{ м}^2$ , успешное срабатывание спринклеров снизит вероятность повреждения, превышающего любую из заданных величин. Например, вероятность повреждения при пожаре, превышающего площадь  $100 \text{ м}^2$ , составляет приблизительно 0,18, если здание не оборудовано спринклерами, и 0,08, если здание оборудовано спринклерами.



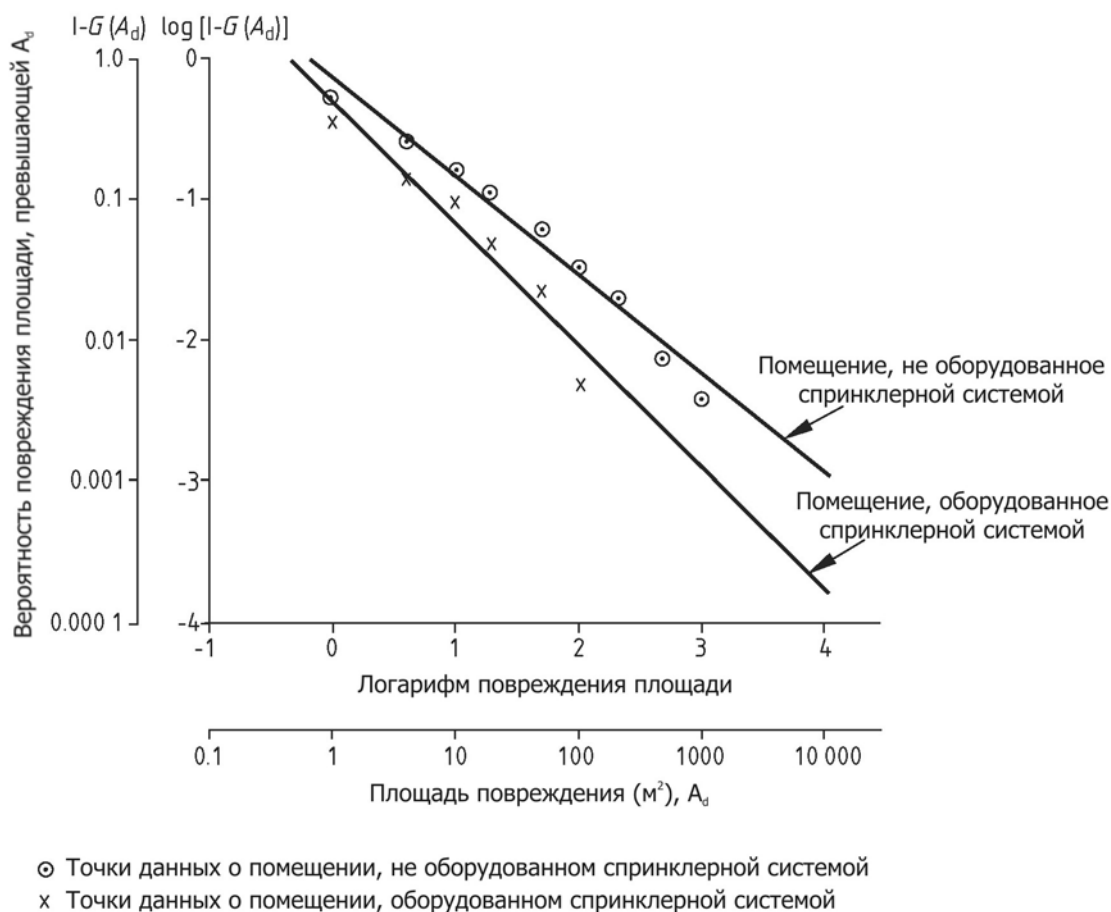
**Рис. 10. Вероятность поврежденной площади, текстильное производство**

Основываясь на последствиях, связанных с опасностью для жизни и причинением ущерба имуществу, повреждение площади величиной  $500 \text{ м}^2$  можно считать допустимым при условии, что данная величина относится к пожарному отсеку, не оборудованному спринклерами. В этом случае вероятность повреждения площади, превышающей  $500 \text{ м}^2$ , составляет 0,08 для помещения без спринклеров и 0,02 для помещения, оборудованного спринклерами. На основе данного результата можно принять решение об увеличении размера пожарного



отсека, оборудованного спринклерами, далеко за пределы  $500 \text{ м}^2$ , если уровень вероятности распространения пожара за пределы пожарного отсека, составляющий 0,08, является допустимым.

Логарифмически нормальное распределение было скорректировано в соответствии с исходными данными, представленными на рис. 10, без учета пожаров с повреждением площади меньше  $1 \text{ м}^2$ , следуя методу, подходящему для «усеченных распределений». Для площади, превышающей  $1 \text{ м}^2$ , были получены величины 0,02 среднего отклонения и 2,46 стандартного отклонения  $Z$ , логарифма поврежденной площади в здании, оборудованном спринклерами. Предполагаемый (средний) показатель повреждения по подсчетам составил  $41,6 \text{ м}^2$ . В помещении без спринклеров величины среднего и стандартного отклонений  $Z$  составили 0,75 и 2,87 соответственно, что приводит к значению площади предполагаемого повреждения  $216,7 \text{ м}^2$ .



**Рис. 11. Распределение вероятностей Парето для площади повреждения — торговые помещения (общественные площади)**

На рис. 11 представлен пример, основанный на распределении Парето для площади повреждения. Если данное распределение адекватно, зависимость логарифма повреждения от логарифма функции сохранности  $[1 - G(A_d)]$  может быть аппроксимирована линейной зависимостью, как показано на рис. 10.

Величины для нанесения точек на рис. 11 получены из количественных данных частотного распределения повреждения площади при пожаре, приведенных в таблице А.7.

Вероятностные распределения, показанные на рисунках 10 и 11, которые могут быть рассчитаны для любого типа здания, являются обобщенными распределениями для заданного типа здания. Для здания заданной величины ( $\text{м}^2$ ), принадлежащего к одному из типов зданий, ожидаемая (средняя) степень повреждения может быть установлена с помощью применения статистического метода к ожидаемым усеченным распределениям. Для логарифмически нормального распределения и распределения Парето были выведены формулы для оценки финансового ущерба в здании с определенной финансовой стоимостью, подверженному риску.

#### 6.2.3 Распределения экстремального значения

Крупные потери выпадают на так называемый «хвост» теоретического распределения ущерба, который обсуждался в предыдущем подпункте. Эти потери составляют очень небольшой процент от общего числа пожаров в категории риска и поэтому не подлежат анализу средствами стандартных статистических методов. Теория экстремальных значений обеспечивает математическую основу для наилучшего использования информации, полученной для крупных ущербов. С помощью асимптотической теории экстремальных значений, обсуждаемой в данных исследованиях, можно получить приближенные результаты для распределения «экспоненциального типа». Согласно данной теории, число пожаров ( $n$ ) за определенный период времени должно быть большим, например, свыше 100. Также желательно, чтобы для проведения анализа имелись данные, по

меньшей мере, о 20 случаях крупного ущерба. Вследствие этих требований в некоторых случаях может быть необходимым рассматривать пожары, происшедшие в некоторой группе зданий с подобной степенью риска в течение, скажем, четырех или пяти лет.

Подробное обсуждение теории экстремальных значений не является предметом внимания настоящего документа. Основные особенности данной теории включают следующее. Логарифмы потерь при числе пожаров ( $n$ ), входящих в определенную категорию риска за определенное число лет, составляют выборку данных из наблюдений, генерируемых теоретическим распределением  $F(Z)$ . Если данные показатели ущерба ранжируются в порядке убывания величины, то логарифм ущерба с индексом  $m$  может быть обозначен как функция  $Z(m)n$ , относящаяся к статистике экстремальных значений. Для наибольшей величины подстрочному индексу  $m$  присваивается значение один (первый ранг). Для повторной выборки (периодов)  $Z(m)n$  является случайной переменной с экстремальной величиной вероятностного распределения. Теория экстремальных значений связана с индивидуальными распределениями вероятности, которые генерируются статистикой экстремальных значений переменного ранга  $m$  и их совместного распределения.

В отсутствие данных о точных свойствах теоретических распределений параметры экстремального значения  $Z(m)n$  могут быть установлены из наблюдений над  $Z(m)n$  в повторных выборках. Три метода, пригодные для этой цели включают в себя корректировки с варьированием значения  $n$  (числа пожаров) от периода к периоду без корректировки на ущерб вследствие инфляции. Установленные значения параметров для различных рангов ( $m$ ) будут описывать поведение «хвоста» теоретического распределения как функцию  $n$  (см. рис. 12). Параметры также указывают на характер теоретических распределений. Теоретические распределения, соответствующие данному поведению, могут корректироваться по отношению к большим потерям, и для того, чтобы выбрать распределение, которое подходит наилучшим образом, выполняется оценка погрешностей.

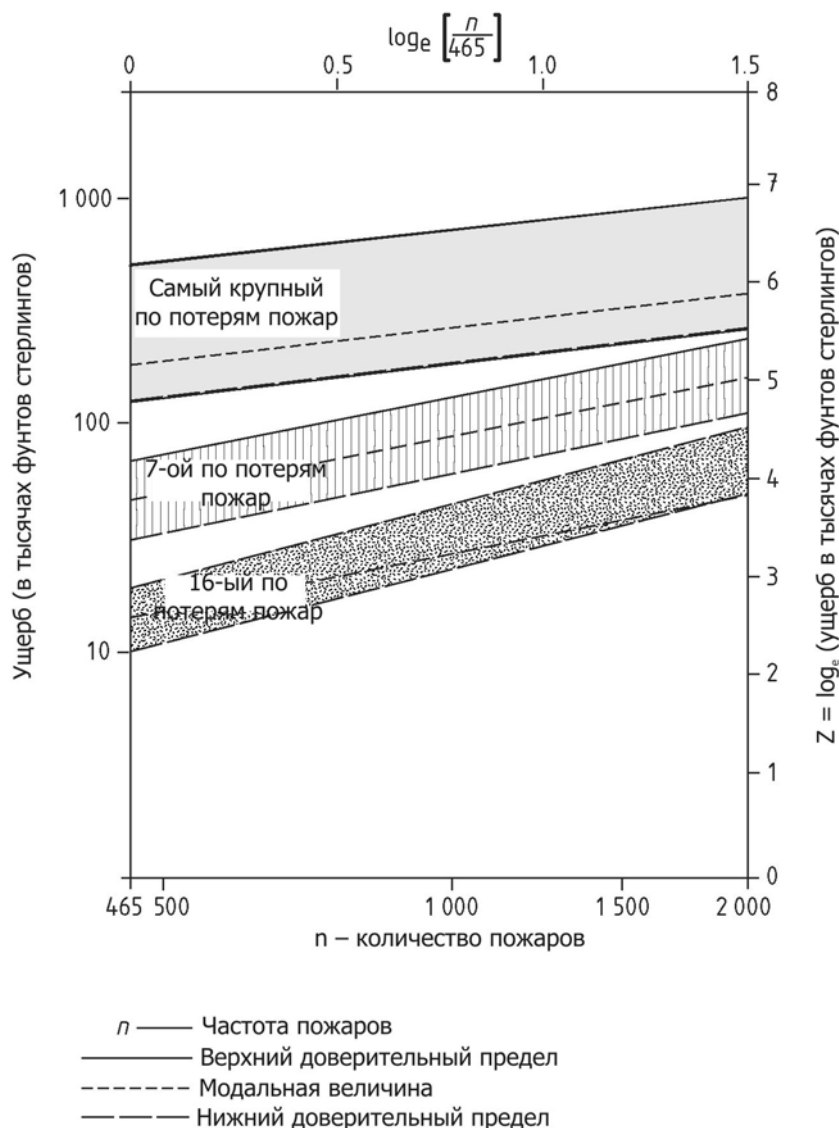
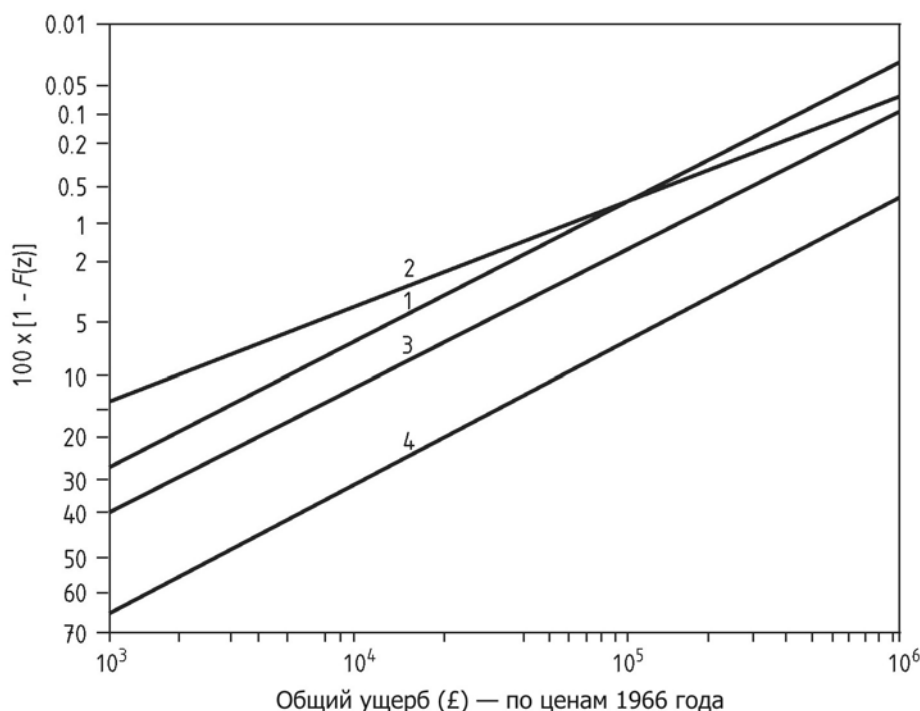


Рис. 12. Частота пожаров и крупные потери

Другое применение теории экстремальных значений связано с определением среднего значения ( $\mu$ ) и стандартного отклонения ( $\sigma$ )  $Z$ , логарифма ущерба, во всех пожарах — мелких и крупных, но данная оценка должна быть основана, скажем, на показателе последующих крупных потерь  $S$ , при изменении  $m$  от 1 до  $S$ , над пороговым уровнем. Информация о финансовом ущербе может быть доступна только относительно крупных пожаров  $S$  из числа пожаров  $N$ . Для получения наилучших оценок величины  $\mu$  и  $\sigma$  в общем числе пожаров  $N$  из числа крупных ущербов  $S$  были разработаны два метода — обобщенный метод наименьших квадратов и метод максимального правдоподобия. Первый метод обеспечивает «несмещенную» оценку, но включает в себя сложные расчеты, для которых была разработана специальная компьютерная программа. Второй метод достаточно легок в применении и требует использования только карманного калькулятора. Данный метод обеспечивает «смещенную» оценку, но существуют формулы для корректировки «смещения» результатов. Оба метода требуют некоторых допущений, например, за теоретическое распределение ущерба принимается логарифмически нормальное распределение.

Используя допущение о логарифмически нормальном распределении и применяя обобщенный метод наименьших квадратов, была выполнена оценка среднего значения потерь от пожаров в промышленных и коммерческих зданиях, оборудованных и не оборудованных спринклерами (см. таблицу A.12 и рис. 13).



Линия	Тип здания	Параметры
1	Одноэтажное здание, оборудованное спринклерной системой	$\mu = -0,616$ $\sigma = 1,024$
2	Многоэтажное здание, оборудованное спринклерной системой	$\mu = -1,419$ $\sigma = 1,340$
3	Одноэтажное здание, не оборудованное спринклерной системой	$\mu = -0,334$ $\sigma = 1,062$
4	Многоэтажное здание, не оборудованное спринклерной системой	$\mu = -0,401$ $\sigma = 0,992$

**Рис. 13. Распределение вероятности сохранности при ущербе от пожара для помещений всех классов в текстильной промышленности**

#### 6.2.4 Скорость роста пожара

Главным параметром при проектировании зданий и обеспечении мер противопожарной защиты является скорость роста пожара в помещении, где произошло возгорание, и его последующего распространения в другие части здания. Данная скорость зависит, в первую очередь, от тепловыделения воспламенившихся материалов, а также от таких факторов, как вентиляция и размеры помещения. Для оценки скорости роста пожара

инженеры по пожарной безопасности, как правило, рекомендуют использовать следующее простое уравнение, известное как уравнение квадратичного пожара:

$$\dot{Q}_g = \alpha(t - t_i)^2, \quad (8)$$

где  $\dot{Q}_g$  — скорость выделения тепла при пожаре в фазе роста (кВт),  $t$  — время (сек.),  $t_i$  — время возгорания (сек.), обычно принимаемое за нуль, и  $\alpha$  — параметр роста пожара (кДж/сек<sup>3</sup>).

Фактическая скорость роста пожара варьируется в зависимости от конфигурации помещения, где произошло возгорание, и типов присутствующего материала. Значения  $\alpha$  представлены для четырех основных кривых роста пожара: медленный, средний, быстрый и сверхбыстрый рост. Данная классификация была предложена для зданий разного типа.

Уравнение (8) основано на серии огневых испытаний и анализе ряда реальных пожаров. Данное уравнение дает оценку вероятной скорости роста пожара на ранних стадиях его развития, включая особенности материала или объекта, воспламенившихся первыми. Развитие пожара в помещении или пожарном отсеке, вмещающем некоторые объекты, размещенные в определенном порядке, также может быть проанализировано статистически. Для статистического подхода в определении скорости роста пожара в помещении или пожарном отсеке (детерминированный) рост пожара как функция времени может быть описан следующей экспоненциальной моделью лучше, чем квадратичной кривой:

$$A_d(t) = A_{ig} \exp(\gamma t), \quad (9)$$

где  $A_d(t)$  — площадь, поврежденная в течение  $t$  минут,  $A_{ig}$  — площадь первоначального возгорания, и  $\gamma$  — параметр роста пожара.

Уравнение (9) следует некоторым научным и экспериментальным изысканиям, согласно которым, теплоотделение от пожара увеличивается экспоненциально со временем. Теплоотдача приблизительно пропорциональна площади повреждения. Условно,  $A_d = 0$  для  $t = 0$ . Однако, данное условие не отвечает уравнению (9). Это уравнение может быть скорректировано, чтобы усилить изгиб экспоненциальной кривой для того, чтобы она прошла через начало координат, но данный прием не выглядит надежным для инженерной практики. Кроме того, начальная стадия пожара может быть очень непостоянной по своей продолжительности: она может длиться часами (тление) или может закончиться в течение нескольких минут. Как правило, уравнение (9) применимо для периода после начала «установившегося режима горения».

Необходимо подчеркнуть, что  $A_d(t)$  в уравнении (9) — это конечная (суммарная) мощность пожара, выраженная в показателях площади здания, поврежденной на момент его тушения ( $t$ ). Статистика пожаров не дает и не может предоставить информацию о мощности пожара в любой конкретный момент времени, например, в момент прибытия пожарной команды на место пожара. Производная  $\frac{dA_d}{dt}$  дает оценку прироста площади, поврежденной в течение краткого периода (от  $t$  до  $t + dt$ ):

$$\frac{dA_d}{dt} = A_{ig} \gamma \exp(\gamma t) \quad (10)$$

Статистика пожаров, собранная Министерством внутренних дел Великобритании, дает для каждого пожара информацию о  $A_d(t)$  и длительности горения,  $\Delta t_{burn}$ , которая является суммой следующих четырех периодов времени:

$\Delta t_1$  — период времени от возгорания до обнаружения пожара;

$\Delta t_2$  — период времени от обнаружения пожара до вызова пожарной команды;

$\Delta t_3$  — период времени от вызова пожарной команды до ее прибытия на место пожара (время реагирования);

$\Delta t_4$  — период времени от прибытия пожарной команды до момента, когда пожар взят под контроль (время контролируемого пожара). Оценка периода времени  $\Delta t_1$  происходит в соответствии со следующей классификацией:

- а) пожар обнаружен в момент возгорания ( $\Delta t_1$  равно нулю);
- б) пожар обнаружен менее чем через 5 минут после возгорания;
- в) пожар обнаружен в период между 5 и 30 минутами после возгорания;
- г) пожар обнаружен более чем через 30 минут после возгорания.

Для оценки общей продолжительности горения  $\Delta t_{burn}$  можно применять средние значения, равные 2, 17 и 45 минутам для второго, третьего и четвертого классов  $\Delta t_1$ . Рост пожара будет практически несущественным в пятый промежуток времени — времени  $t$  от взятия пожара под контроль до его ликвидации.

С использованием статистических данных уравнение (9) было применено в пробном исследовании, связанном с экономической эффективностью раннего обнаружения пожаров в текстильной промышленности, при условии, что  $\Delta t_1$  снижено до 1 минуты. При распространении пожара за пределы начальной стадии (первичного очага возгорания), взятом за нулевой момент времени, и началом установившегося режима горения  $t$ , выраженным в минутах, было получено общее значение скорости роста пожара равное 0,083 для помещений без спринклеров и 0,031 для помещений со спринклерами. Площадь первоначального возгорания  $A_{ig}$  составила 4,43 м<sup>2</sup> в обоих случаях. Поскольку огнестойкость элементов строительных конструкций оказала влияние на общие показатели скорости роста, в более позднем исследовании была оценена скорость роста пожара в пределах одного помещения. Эти значения составили 0,117 для помещения со спринклерами и 0,196 для помещения без спринклеров.

Упомянутые выше значения  $\gamma$  для распространения пожара в пределах помещения дали «время удвоения», равное 5,9 минутам и 3,5 минутам для помещений со спринклерами и без них, соответственно. «Время удвоения» задано следующим уравнением:

$$\text{Время удвоения} = (1/\gamma \log_e 2) = (1/\gamma) 0,6931 \quad (11)$$

и является константой для экспоненциальной модели в уравнении (9). Под этим термином подразумевается время, в течение которого площадь повреждения от пожара удваивается. Например, если для увеличения поврежденной площади с 10 до 20 м<sup>2</sup> требуется 6 минут, то увеличение площади повреждения с 20 до 40 м<sup>2</sup>, с 30 до 60 м<sup>2</sup>, с 50 до 100 м<sup>2</sup> и т.д. также займет всего 6 минут.

При соответствующих допущениях о величине отношения вертикальной скорости распространения пожара к горизонтальной, скорости роста и время удвоения, как обсуждалось выше, относительно повреждения площади (горизонтальное распространение), могут быть преобразованы в показатели скорости и времени удвоения относительно объема повреждения. Можно ожидать, что с учетом объема скорость роста будет выше и время удвоения будет меньше, чем скорость роста и время удвоения с учетом одной только площади. Можно также ожидать, что скорость роста пожара в условиях реального пожара в плане тепловыделения будет иметь положительную корреляцию со скоростью роста пожара в плане объема повреждения.

Экспоненциальная функция в уравнении (9) может быть развернута в степенной ряд таким образом, что значениями, содержащими степени  $\gamma t$  выше, чем, скажем,  $\gamma^3 t^3$ , можно будет пренебречь при небольших значениях  $\gamma t$ . Экспоненциальная модель включает в себя член, содержащий  $t$ , и, следовательно, является более общей, чем квадратичная кривая.

Экспоненциальную модель можно расширить для получения показателей скорости роста пожара отдельно для периода времени  $\Delta t_A (= \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3)$  до прибытия пожарной команды на место пожара и  $\Delta t_B (= \Delta t_4)$  для периода после прибытия пожарной команды и до момента взятия пожара под контроль. Скорости роста пожара в эти два периода времени были оценены в нескольких промышленных зданиях и на трех участках, где произошло возгорание: на производственном участке, на складе и остальной площади. Для данных предприятий и их участков и начального периода  $\Delta t_A$  были рассчитаны скорости роста пожара и доверительные интервалы для некоторых материалов, воспламенение которых предполагается в первую очередь.

В более позднем исследовании была рассчитана скорость роста пожара на железнодорожных объектах, общественных автостоянках, в автомобильных туннелях, подземных переходах и на электростанциях. В данной работе авторы указали на различие между средней скоростью роста пожара во всех пожарах и скоростью роста в отдельном пожаре; данные два показателя скорости были рассчитаны с учетом их доверительных интервалов.

Скорость  $dL/dt$ , с которой эквивалентная пожарная нагрузка ( $L$ ) в пожарном отсеке расходуется при пожаре, может быть эквивалентна  $\dot{m}$  (в кг/сек) — скорости, с которой выгорает топливная масса. Если плотность пожарной нагрузки —  $\bar{L}$  (в кг/м<sup>2</sup>), то:

$$\dot{m} = (dL/dt) = \bar{L}(dA_d/dt), \quad (12)$$

где  $dA_d/dt$  задается уравнением (10), а  $t$  выражено в секундах. Из уравнений (10) и (12) получаем:

$$\dot{m} = \dot{m}_i \exp(\gamma t), \quad (13)$$

где

$$\dot{m} = \bar{L} A_{ig} \gamma \quad (14)$$

— скорость потери топливной массы в начальный период установившегося режима горения. Также:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m} H_c \\ &= \dot{m}_i H_c \exp(\gamma t), \end{aligned} \quad (15)$$

где  $\dot{Q}$  (кВт) — скорость выделения тепла и  $H_c$  — эффективная теплота горения топлива, обычно принимаемая равной 18000 кДж/кг.

Для уравнения (9) скорость роста пожара  $\gamma$  рассматривается как константа и является усредненной скоростью для всего периода горения. В реальности,  $\gamma$  будет увеличиваться на начальных стадиях роста пожара до начала его тушения спринклерами или пожарной командой; тушение пожара будет постепенно снижать значение  $\gamma$ . Для исследования этих изменений величины  $\gamma$  была оценена скорость роста пожара для каждой из конкретных категорий распространения пожара, приведенных в таблице А.4, и для помещений, оборудованных и не оборудованных спринклерами, с дальнейшей разбивкой на пожары, тушение которых осуществлялось пожарной командой, и пожары, тушение которых пожарной командой не осуществлялось. Оценка проводилась для четырех типов промышленных зданий: здания розничной и оптовой торговли, здания компаний-дистрибьюторов, административные здания.

В упомянутых выше исследованиях площадь, поврежденная при непосредственном горении, используется как переменная  $Ad(t)$  для оценки скорости роста пожара, т.е. тепловыделения. Рост дымообразования, основанный на скорости роста пожара, может быть вычислен путем проведения корреляции между этими двумя показателями скорости. Можно ожидать, что дымообразование будет расти экспоненциально быстрее, чем тепловыделение, со значением параметра  $\gamma$ , в два или более раза превышающем значение тепловыделения. Скорость роста дымообразования также может быть до некоторой степени непосредственно рассчитана с использованием данных об общей площади повреждения, включая ущерб от дыма и воды. Данная информация содержится в отчетах о случаях пожара, представленных пожарными подразделениями Великобритании.

Экспоненциальная модель роста пожара была разработана для того, чтобы оценить экономическую эффективность обнаружения пожара на ранней стадии для перспективы снижения имущественного ущерба путем уменьшения времени, требующегося для обнаружения пожара  $\Delta t_1$ . Данная модель может использоваться для оценки экономической эффективности уменьшения других временных компонентов общей продолжительности горения ( $\Delta t_{burn}$ ), в частности, времени реагирования пожарных подразделений ( $\Delta t_3$ ) и времени контролируемого пожара ( $\Delta t_4$ ). Максимальная скорость роста пожара, рассчитанная для сценария реального пожара, может использоваться для оценки правильности расчета скорости роста, полученного с помощью такой детерминированной модели, как натурная модель.

#### 6.2.5 Риск для жизни

Большинство смертельных случаев при пожаре происходит в жилых домах и, главным образом, в силу относительно небольшого количества причин, таких как невнимательность в обращении с принадлежностями для курения, комнатными обогревателями (в основном, их ненадлежащая эксплуатация или размещение предметов на слишком близком от них расстоянии), спичками (в основном, детских игр со спичками), а также ненадлежащая эксплуатация бытовых электроплит. В случаях смертей по причине ненадлежащей эксплуатации обогревателей и бытовых электроплит, основным источником энергии является электричество.

Большая часть случаев со смертельным исходом в жилых домах, около 60%, приходится на помещение, где произошло возгорание, 20% — на остальную часть этажа, на котором произошло возгорание, и 15% — на этажи, расположенные над этажом, на котором произошло возгорание. Огонь, дым и токсичные газы распространяются, главным образом, вверх, и поэтому с наибольшей вероятностью с ними сталкиваются люди, проживающие на верхних этажах, которые остаются в своих жилищах или пытаются укрыться в безопасных зонах внутри или снаружи здания, охваченного пожаром.

В то время, как пожар является главной угрозой для людей, находящихся в непосредственной близости от него, более серьезную угрозу для людей, находящихся вдали от пожара, как правило, представляют дым и токсичные газы, а не само пламя (тепло). Помимо газа и дыма, которые являются главной причиной более чем 50% смертельных случаев в жилых домах, высокий процент смертей при пожаре в помещении, где произошло возгорание, обусловлен ожогами.

Во избежание смертельных случаев или травм при пожаре, людям следует добраться до безопасной зоны до того, как тепло, дым и токсичные газы заблокируют путь эвакуации. Общее время выхода  $\Delta t_{esc}$ , требующееся людям, чтобы добраться до безопасной зоны, должно быть меньше, чем предельное время  $\Delta t_{ten}$ , за которое произойдет распространение продуктов горения за пределы помещения, где произошло возгорание, и на пути эвакуации возникнут неприемлемые условия. Вероятность одного или более смертельных случаев при пожаре есть коэффициент смертности из расчета на один пожар,  $P_d \cdot P_d$  — произведение скорости  $\delta$ , количественно отражающей увеличение коэффициента смертности в минуту, и времени  $\Delta t_{exp} (= \Delta t_{esc} - \Delta t_{ten})$  в минутах, показывающего длительность воздействия неприемлемых условий, создаваемых продуктами горения:

$$P_d = \delta(\Delta t_{esc} - \Delta t_{ten}) = \delta \Delta t_{exp}. \quad (16)$$

Значения  $P_d$  и  $\delta$  изменяются в зависимости от типа здания (отель, универмаг, и т.д.), продукта горения (тепло, дым, и т.д.) и неприемлемого условия, например, снижения видимости.

Значение  $P_d$  может быть установлено для любого типа жилого дома и продукта горения на основе статистики пожаров для каждого из четырех классов времени обнаружения пожара  $\Delta t_{det}$ , определяемого как  $\Delta t_1$  в п.6.2.4. Согласно таблице А.13, за исключением пожаров, обнаруженных в момент возгорания ( $\Delta t_{det} = 0$ ), значение  $P_d$  возрастает с ростом значения  $\Delta t_{det}$ . Значение  $P_d$  для пожаров, обнаруженных в момент возгорания, выше, чем для пожаров, обнаруженных в срок менее 5 минут с момента возгорания. Данный факт может быть обусловлен тем обстоятельством, что люди в помещениях, где произошло возгорание, и где случается наибольшее количество смертей, не имеют достаточного времени для того, чтобы эвакуироваться до наступления неприемлемых условий.

Общий коэффициент смертности  $P_d$  из расчета на один пожар составляет 0,0125 для многоквартирных домов и 0,0122 для многоквартирных домов. Данные коэффициенты обусловлены тем фактом, что общее усредненное значение  $\Delta t_{det}$  составляет 13 минут для обоих типов домов. Общее усредненное значение  $\Delta t_{det}$  было определено с допущением, упомянутым в п.6.2.4, о том, что для трех классов с  $\Delta t_{det} > 0$  средние значения времени обнаружения пожара составляют 2, 17 и 45 минут.

Общее время выхода  $\Delta t_{esc}$  является сумой трех периодов времени,  $\Delta t_{det}$ ,  $\Delta t_{pre}$  и  $\Delta t_{trav}$ , следующих друг за другом с момента времени обнаружения пожара после начала возгорания. Эвакуация начинается после обнаружения пожара, а в безопасную зону, например, выход на пожарную лестницу, люди попадают после начала эвакуации. Оценки  $\Delta t_{pre}$  («время распознавания» или «фаза сбора людей») и  $\Delta t_{trav}$  («время движения») могут быть получены из исследований механизмов человеческого поведения или на основе выводов, полученных при проведении эвакуационной тренировки. Оценка  $\Delta t_{ten}$  может быть получена при помощи компьютерного моделирования, основанного на детерминированных моделях (зонных, натурных, и т.д.).

В отсутствие данных о  $\Delta t_{pre}$ ,  $\Delta t_{trav}$ ,  $\Delta t_{ten}$ , уравнение (16) может быть переписано в виде простой линейной регрессивной модели:

$$P_d = K + \delta \cdot \Delta t_{det}, \quad (17)$$

где

$$K = \delta \cdot (\Delta t_{pre} + \Delta t_{trav} - \Delta t_{ten}). \quad (18)$$

Согласно таблице А.13, значение  $\delta$ , обозначающее рост коэффициента смертности в минуту, равно 0,0008 для многоквартирных домов и 0,0006 для многоквартирных домов. Данные результаты подразумевают, что на каждые 10000 пожаров, произошедших в подобных зданиях, можно предотвратить около семи смертей на каждую сэкономленную (сокращенную) минуту величины среднего времени обнаружения пожара. Подобный результат, по-видимому, может быть применен к любым изменениям времени реагирования пожарного подразделения ( $\Delta t_3$ ), или времени контролируемого пожара ( $\Delta t_4$ ), связанных с работой пожарной командой. Согласно таблице А.13, значение  $K$  равно 0,0016 и 0,0015 для одно- и многоквартирных жилых домов.

Значения  $\delta$  и  $K$ , упомянутые выше, были получены применением простой интерполяции данных, обобщенных за 14-летний период. Более точные оценки данных параметров могут быть получены при использовании данных за конкретные годы и выполнении регрессивного анализа (методом наименьших квадратов), основанного на уравнении (17). Статистические данные для оценки параметров  $\delta$  и  $K$  в отдельности для каждой из трех основных причин смерти (от газа, дыма или ожогов от огня, пара или жидкости) и других причин, могут быть получены из статистики пожаров в Великобритании.

В анализе, приведенном выше, параметр  $\delta$  принимается за константу, но в реальности оценка его значения будет зависеть от периодов времени  $\Delta t_{det}$ ,  $\Delta t_{pre}$  и  $\Delta t_{trav}$  и трех компонентов  $\Delta t_{ten}$ , обозначающего время, за которое дым, тепло и токсичные газы приведут к созданию на путях эвакуации неприемлемых условий. При наличии достаточного количества данных из статистических исследований и других источников значения  $\delta$  в отдельности для шести компонентов времени, упомянутых выше, могут быть рассчитаны посредством разворачивания уравнения (17) во множественную линейную регрессивную модель и определения ее параметров. Возможно, имеет смысл провести простой регрессивный анализ по уравнению (17) или множественный регрессивный анализ отдельно для двух случаев: помещения, где произошло возгорание, и прочих помещений.

Наличие систем автоматического обнаружения пожара в зданиях может значительно сократить время обнаружения пожара  $\Delta t_{det}$ . Спринклерные системы сокращают время обнаружения пожара, а также увеличивают промежуток времени  $\Delta t_{ten}$ , за который продукты горения приводят к созданию на пути эвакуации неприемлемых условий. Данное двойное воздействие уменьшает как  $\Delta t_{det}$ , так и  $K$  в уравнении (17), таким

образом, значительно снижая коэффициент смертности  $P_d$ . Условно, для пожара, потушенного спринклерной системой, величина  $\Delta t_{ten}$  стремится к бесконечности. Проведены исследования по оценке вероятной степени снижения коэффициента смертности в одно- и многоквартирных домах за счет времени обнаружения пожара и спринклерных систем.

При малых значениях  $\delta$ , численное значение  $P_d$  в уравнении (16), определяемое как  $\delta \Delta t_{exp}$ , является приближенным значением для функции  $[1 - \exp(-\delta \Delta t_{exp})]$ , обозначающей вероятность одного или более смертельных случаев, согласно пуассоновскому распределению вероятностей, которое можно применить к такой случайной переменной, как число смертельных случаев при пожаре, имеющей целочисленное значение.

В соответствии с развернутой формой данного дискретного (прерывистого) распределения, вероятность  $P(\phi, \Delta t_{exp})$  точного числа смертельных случаев  $\phi$ , произошедших при пожаре вследствие воздействия не-приемлемых условий в течение  $\Delta t$  минут, имеет вид:

$$P(\phi, \Delta t_{exp}) = \exp(-\delta \cdot \Delta t_{exp}) (\delta \cdot \Delta t_{exp})^\phi / \phi!, \quad (19)$$

где

$$\phi! = \phi(\phi - 1)(\phi - 2) \dots$$

Вероятность отсутствия смертельных случаев, заданная значением  $\phi = 0$  в уравнении (19) или выражением  $\exp(-\delta \cdot \Delta t_{exp})$ , которое при малых значениях  $\delta$  может быть приближенно записано в виде  $1 - \delta \cdot \Delta t_{exp} = 1 - P_d$ , как описано в уравнении (19).  $P_d = \delta$  — это коэффициент смертности из расчета на один пожар, рассчитанный как отношение количества смертельных случаев к количеству пожаров. Данная величина, обозначающая вероятность одного или более смертельных случаев, может использоваться в уравнении (19) для оценки вероятностей для различных значений  $\phi$  (количество смертельных случаев).

Вероятность пожара с многочисленными жертвами ( $k$  или более смертельных случаев) выражается следующим уравнением:

$$P_k(\Delta t_{exp}) = \sum_{\phi=k} P(\phi, \Delta t_{exp}) \quad (20)$$

$$= 1 - \sum_{k=0}^{k-1} P(\phi, \Delta t_{exp})$$

для  $k = 2$ :

$$P_2(\Delta t_{exp}) = 1 - \exp(-\delta \cdot \Delta t_{exp}) - \exp(-\delta \cdot \Delta t_{exp}) \delta \cdot \Delta t_{exp} \quad (21)$$

Численные значения  $P_d$  и  $P_k(\Delta t_{exp})$  могут корректироваться с учетом таких факторов, как число людей (пользователей здания), подверженных риску в конкретном здании, или среднее число людей, подверженных риску в конкретном типе здания.

Более точное значение  $P_d (= \delta \cdot \Delta t_{exp})$  можно рассчитать, используя пуассоновское распределение, (уравнение (19)) для данных, подобных показателям, представленным в таблице А.14. Согласно данной таблице, вероятность двух и более смертельных случаев, произошедших при пожаре, составляет 0,0012 и 0,0008 для двух рассмотренных выше типов зданий. Другие дискретные вероятностные распределения, например, отрицательное биномиальное, могут обеспечить лучшее приближение к частотному распределению числа смертельных случаев, чем пуассоновское распределение. Если данное распределение рассчитано для каждого отдельного года или каждого отдельного периода, например, двух или трех лет, рассмотренных в качестве выборки данных, в последующих повторных выборках (периодах) случаи пожаров с многочисленными жертвами в группе крупных зданий будут следовать распределению экстремальных значений, как в случае большого финансового ущерба. Распределение экстремальных значений из теоретических дискретных распределений, таких как пуассоновское и отрицательное биномиальное распределения, отличает сложная математическая форма, структура которой исследуется в настоящее время.

Данные, подобные показателям, приведенным в таблицах А.13 и А.14, обеспечивают оценки текущего уровня риска для жизни, определенного как  $P_d$ . Желательно снизить риск для жизни до уровня  $P'_d$ , ниже текущего уровня  $P_d$ , посредством установки в здании лестниц соответствующей ширины, согласно расчетным значениям времени движения  $\Delta t'_{trav}$  и соответствующей протяженности путей эвакуации. Данное значение  $\Delta t'_{trav}$  может быть определено на основе следующего уравнения:

$$\Delta t'_{exp} = P'_d / \delta, \quad (22)$$

где



$$\Delta t'_{\text{exp}} = \Delta t_{\text{det}} + \Delta t_{\text{pre}} + \Delta t'_{\text{trav}} - \Delta t_{\text{ten}}. \quad (23)$$

Величина времени обнаружения пожара  $\Delta t_{\text{det}}$  зависит от наличия или отсутствия в здании систем противопожарной защиты, таких как системы автоматического обнаружения пожара и спринклеры. На основе исследований механизмов человеческого поведения и выводов, полученных при проведении эвакуационной тренировки, можно рассчитать время до начала движения  $\Delta t_{\text{pre}}$ . Детерминированные модели могут обеспечить возможность определения  $\Delta t_{\text{ten}}$ , а  $\delta \cdot \Delta t_{\text{ten}}$  является временем, за которое, к примеру, дым распространяется за пределы помещения, где произошло возгорание, и приводит к возникновению на путях эвакуации неприемлемых условий. Параметр  $\delta$  отражает увеличение вероятности смерти на каждую дополнительную минуту пребывания под воздействием неприемлемых условий. Произведение  $(\delta \cdot \Delta t'_{\text{exp}})$ , полученное таким образом из уравнения (19) или уравнения (20), может использоваться при оценке вероятности пожара с многочисленными жертвами.

В то время, как параметры  $\Delta t_{\text{det}}$  и  $\Delta t_{\text{pre}}$  могут считаться константами для здания заданного типа,  $\Delta t_{\text{trav}}$ ,  $\Delta t_{\text{ten}}$  и  $\delta$  варьируются в зависимости от расположения места, где произошло возгорание, путей эвакуации и вида продукта горения. Средние значения данных трех параметров можно рассчитать, изучая различные места, где произошло возгорание в конкретном здании, пути эвакуации и продукты горения. Данные средние значения и их стандартные отклонения можно получить при проведении компьютерного моделирования, основанного на детерминированных моделях эвакуации и распространения продуктов горения.

#### 6.2.6 Регрессивный анализ

Простой линейный регрессивный анализ связан с подбором прямой линии следующей формы:

$$y = \tilde{m}x + \tilde{c} \quad (24)$$

для пар результатов наблюдений  $(y_i, x_i)$ , имеющихся для конкретной выборки, скажем, пожаров, принадлежащих к некоторой категории риска. Подстрочный индекс  $i$  обозначает  $i$ -ый пожар в данной выборке. Значение «зависимой» переменной  $y_i$  соответствует значению «независимой» переменной  $x_i$ . Независимая переменная является фактором, таким как, например, продолжительность горения, который влияет на такую зависимую переменную, как, например, площадь повреждения. Параметр регрессии  $\tilde{m}$  является оценкой прироста величины  $y$  при увеличении величины  $x$  на единицу. Параметр  $\tilde{c}$  — это константа, указывающая на точку пересечения оси  $y$  линией регрессии.

Чтобы проверить, существует ли возможность провести прямую линию так, чтобы она проходила приблизительно через зону рассеивания точек, представляющих пары данных  $(y_i, x_i)$ , полученных из наблюдений, не первом этапе можно провести графический анализ. В некоторых случаях для получения прямой линии может оказаться необходимым использовать логарифм зависимой переменной или логарифмы обеих переменных  $(y_i$  и  $x_i)$ . Например, в соответствии с уравнением (2), логарифм повреждения площади находится в линейной зависимости от площади здания, выраженной в единицах общей площади здания. Экспоненциальная модель в уравнении (9) является еще одним примером, в котором логарифм повреждения площади имеет линейную зависимость от продолжительности горения.

В случае, если графический анализ выявит линейную зависимость между переменной  $y_i$  (или ее логарифмом) и переменной  $x_i$  (или ее логарифмом), значения параметров  $\tilde{c}$  и  $\tilde{m}$  в уравнении (24), обеспечивающие «лучшее» приближение, могут рассчитываться с применением метода, известного как «метод наименьших квадратов». Для расчетов по данному методу с помощью компьютера существует пакеты программного обеспечения. С вычисленными таким образом значениями  $\tilde{c}$  и  $\tilde{m}$  уравнение (24) может использоваться для оценки ожидаемых или усредненных значений  $y$  для каждого конкретного заданного значения  $x$ . Пакеты программного обеспечения позволяют также оценить «остаточную погрешность», которую можно использовать для получения «доверительных интервалов» ожидаемого значения  $y$ .

В простой, одиночной линейной регрессии, описанной выше, допускается, что значение зависимой переменной  $y$  подвержено значительному влиянию одного единственного фактора (независимой переменной)  $x$ . Это предположение не всегда является справедливым, поскольку на  $y$  может одновременно влиять целый ряд факторов, каждый из которых вносит свой вклад в значение  $y$ . Например, на показатель вероятной площади повреждения при пожаре могут влиять такие факторы, как площадь здания, высота здания, площадь пожарных отсеков, вентиляция, число пожарных отсеков, число этажей, огнестойкость и наличие или отсутствие мер противопожарной защиты — автоматических детекторов, спринклеров и систем дымоудаления. Существуют также и другие факторы, такие как время реагирования пожарных подразделений и время контролируемого пожара, скорость распространения пожара, и т.д. Некоторые факторы могут привести к имущественному ущербу, некоторой опасности для жизни (т.е. повлиять на количество путей эвакуации, ширину путей эвакуа-

ции, и т.д.), другие факторы могут привести к созданию обоих условий. Как только данные факторы определены, их вклад в нанесение ущерба может быть рассчитан при помощи множественного регрессивного анализа с использованием данных об ущербе и факторах для каждого пожара из выборки данных о пожарах. Подобные данные должны обязательно быть в распоряжении, а в случае их отсутствия, их нужно собирать или рассчитывать, а их численные значения использовать в анализе.

При рассмотрении факторов  $p$  (независимых переменных) во множественной регрессии, их вклад в причинение ущерба (зависимая переменная) определяется параметрами регрессии  $\beta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, p$ ), которые оценивают при помощи следующей модели:

$$Z = \beta_0 + \beta_1 W_1 + \beta_2 W_2 + \dots + \beta_p W_p, \quad (25)$$

где  $Z$  — логарифм ущерба и  $W_j$  — численное значение (или его логарифм)  $j$ -ого фактора. Такому качественному фактору, как наличие спринклеров, может быть присвоено значение +1 в случае, если здание оборудовано спринклерной системой, или -1 при отсутствии таковой. Для количественных факторов параметр  $\beta_j$  определяет прирост величины  $Z$  при увеличении значения  $W_j$  на единицу. Константа  $\beta_0$  показывает фиксированное значение, которое не зависит от факторов, включенных в модель. Она представляет собой усредненный результат влияния факторов, не включенных в модель.

В применении данной модели в уравнении (25) для  $i$ -ого пожара  $Z_i$  является логарифмом ущерба, а  $W_{ij}$  — соответствующим значением  $j$ -ого фактора. При наличии данных для числа пожаров  $n$  и факторов  $p$ ,  $n$ -наборы из  $(p + 1)$  значений, полученных из  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) и  $W_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p$ ), используются для множественного регрессивного анализа методом наименьших квадратов для оценки параметров  $\beta_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, p$ ). Для проведения данного анализа существуют пакеты программного обеспечения.

После того, как коэффициенты  $\beta_j$  определены, с помощью уравнения (25) может быть установлено ожидаемое значение логарифма повреждения, обозначенное как  $\mu$  для любого заданного набора значений факторов  $W_j$  ( $j = 1, 2, \dots, p$ ). Если величина  $Z$  выражена как функция  $\ln(X)$ , ожидаемое значение  $X$  определяется выражением  $\exp\{\mu + (\sigma^2)/2\}$ . Пакеты программного обеспечения производят оценку стандартного отклонения  $\sigma$  «остаточной» погрешности при корректировке модели под уравнение (25). Для оценки остаточной погрешности считается допустимым использовать нормальное распределение. Значение медианы распределения  $X$  задается как  $\exp(\mu)$ . Вероятность повреждения, превышающего значение медианы, составляет 50%. Верхний доверительный предел повреждения является антилогарифмом  $(\mu + \sigma\tau)$ , где значение  $\tau$  (в данном случае) может быть получено из таблицы стандартного нормального распределения. К примеру, если  $\tau = 1,96$ , то соответствующее значение величины повреждения является максимальным ожидаемым повреждением, вероятность превышения которого составляет 0,025.

Большинство компьютерных пакетов программного обеспечения по множественной регрессии обеспечивают возможность оценки корреляции (т.е. степени взаимозависимости) между зависимой переменной  $Z$  и каждой из независимых переменных  $W_j$  ( $j = 1, 2, \dots, p$ ). Независимая переменная (фактор), корреляция которого с  $Z$  является очень низкой (близкой к нулю), может быть исключена из анализа, и коэффициенты регрессии  $\beta_j$  для других факторов должны быть пересчитаны. Вклад фактора с низкой корреляцией в повреждение  $Z$  может не приниматься в расчет.

С помощью пакетов программного обеспечения можно также рассчитать корреляции между независимыми переменными. Если две независимые переменные  $W_j$  и  $W_k$  имеют между собой высокую степень корреляции, то настолько высокая степень взаимосвязи будет вносить путаницу в интерпретацию прогнозируемых значений  $Z$ , благодаря «колинеарности» факторов. В подобном случае только одна из двух переменных ( $W_j$  и  $W_k$ ) может быть включена в заключительный анализ.

Вероятность распространения пожара за пределы помещения, где произошло возгорание,  $P_{sp}$ , может использоваться вместо величины площади повреждения в качестве зависимой переменной в одиночной или множественной регрессивной модели. В данном случае «логит-преобразование»,  $\tilde{P}_{sp}$ , описанное уравнением

$$\tilde{P}_{sp} = \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{P_{sp}}{1 - P_{sp}} \right\}, \quad (26)$$

должно использоваться в процессе оценки вместо величины  $P_{sp}$  для компенсации влияния приблизительно аддитивных факторов. В «логит-модели» вероятность площади повреждения, превышающей, скажем, 100 м<sup>2</sup>

или значение финансового ущерба свыше, скажем, 100 000 фунтов стерлингов, может быть использована для выражения значения  $P_{sp}$ .

«Логит-модель» применяется для оценки влияния различных факторов на вероятность распространения пожара за пределы помещения, где произошло возгорание. Согласно данному исследованию, имели место существенные различия в вероятностях для зданий различного назначения и для одно- и многоэтажных зданий. Наиболее значимым фактором, влияющим на распространение пожара, оказалось время обнаружения пожара, причем было выявлено, что вероятность распространения пожара ночью удваивается в сравнении с дневным периодом, что, по всей видимости, связано с задержкой в обнаружении пожара. Вероятность распространения пожара оказалась значительно ниже для современных зданий, чем для более старых зданий, в особенности, многоэтажных. Это явилось, по-видимому, результатом возросшего уровня противопожарной защиты зданий и осознания требований безопасности. Время реагирования пожарных подразделений не оказывало никакого влияния на распространение пожара.

«Логит-модель» также была применена для количественного определения относительного влияния типов конструкции зданий, числа этажей, наличия системы спринклеров, типа пожарного подразделения и суммарной страховой ставки относительно вероятного объема ущерба. Целью в данном случае являлось прогнозирование вероятности ущерба, выше или ниже 10000 долларов США, при наличии особых характеристик группы риска. «Логит-преобразование», по уравнению (26), было применено к вероятности ущерба, превышающего 10000 долларов США. В качестве примера использовались страховые требования по ущербу от пожара за четырехлетний период в промышленных зданиях, отнесенных к группе «механических цехов». В частности, была признана ценность суммарной страховой ставки, утвержденной Совместной исследовательской корпорацией производителей «Фэктори Мьючуэл» («Factory Mutual»), т.к. она способствует прогнозированию размера и степени ущерба, т.е. доли величины утраченного имущества. Наличие спринклеров было также признано главным фактором, определяющим как объем, так и степень ущерба.

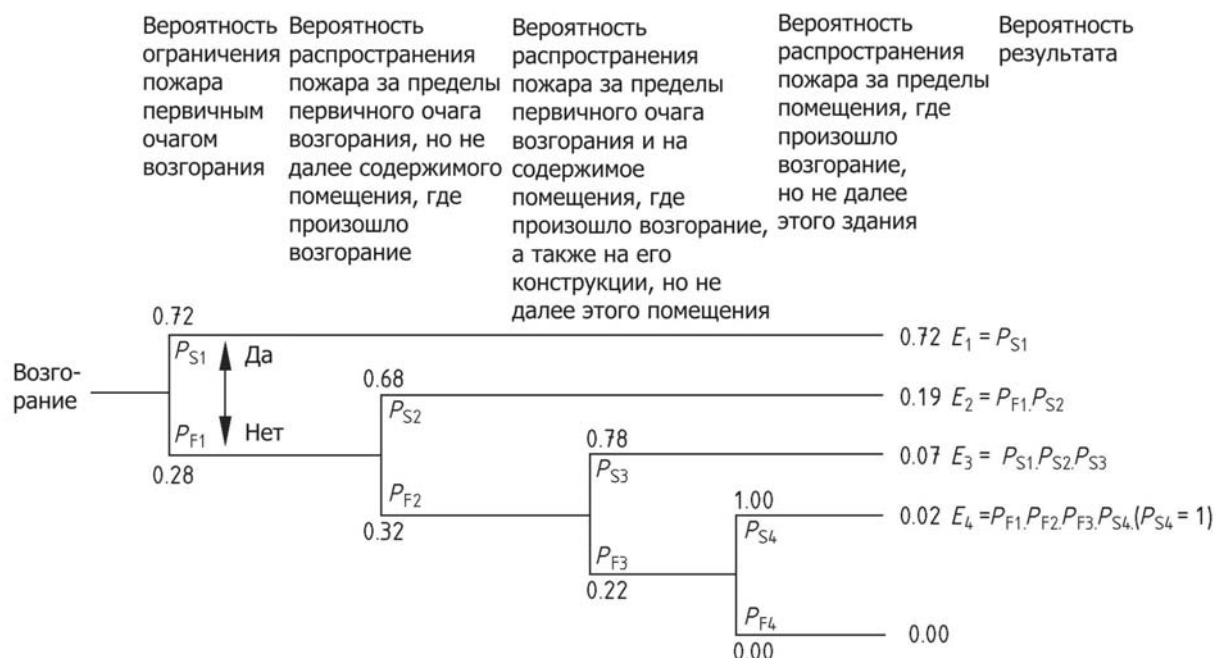
#### 6.2.7 Вероятность вспышки

Определено, что появление вспышки при пожаре в пожарном отсеке часто происходит, когда температура в верхней половине отсека достигает 600°C. Однако, в целях статистического анализа, исходя из характера собранных данных о пожарах, вспышка определяется, как стадия, при которой огонь распространяется за пределы объекта, воспламенившегося первым, и охватывает другие объекты, а тепловая энергия начинает воздействовать на окружающую конструкцию. Пропорциональное число случаев распространения огня за пределы этой стадии дает оценку вероятности наступления вспышки. Для оценки данной вероятности можно построить дерево событий, подобное тем, что изображены на рис. 14. Требуемая вероятность представлена формулой  $E_3 + E_4 = P_{F1} \cdot P_{F2}$  и для текстильной промышленности равна 0,09 в помещениях, оборудованных спринклерами и 0,28 - в помещениях, не оборудованных спринклерами. В модели на рис. 14  $P_{S4} = 1$ , а  $P_{F4} = 0$ , так как распространение огня за пределы здания не учитывается. В случае срабатывания спринклеров значение 0,72 для  $E_1$  включает в себя треть пожаров, потушенных спринклерными системами, и на тушение которых пожарная команда не вызывалась.

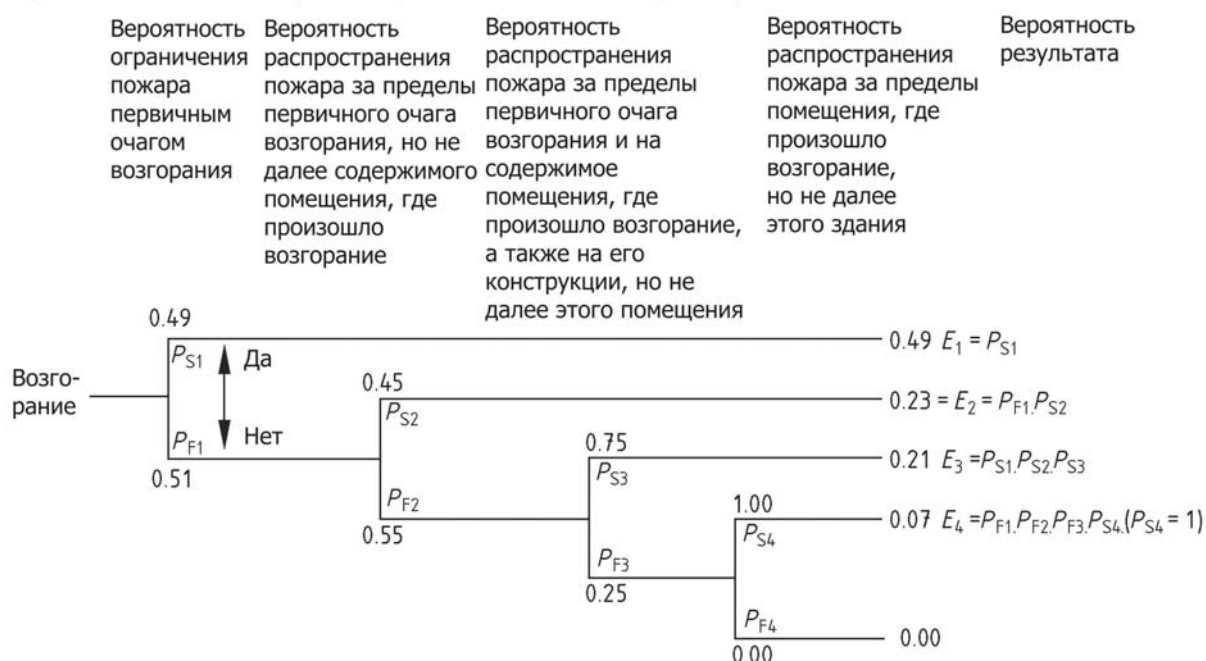
Вероятность вспышки зависит от места возгорания. Данная проблема была исследована на примере нескольких типов промышленных и коммерческих зданий, как, например, показано на рис. 15. Полученные результаты представлены в таблице А.15. Согласно этим данным, как можно ожидать, более высокая вероятность вспышки наблюдается в складских зонах, нежели в производственных или иных помещениях. Спринклеры в достаточной степени сокращают возможность вспышки. Показатель  $\omega$ , обозначающий отношение между вероятностями вспышки в помещении, оборудованном и не оборудованном спринклерами, варьируется между 2,25 в складских зонах текстильной промышленности и 10,33 в складских зонах торговых помещений.

При возникновении вспышки некоторая часть площади помещения  $A_i$  будет повреждена под воздействием тепла. Например, согласно рис. 15, при возникновении вспышки в производственном помещении текстильной промышленности поврежденная площадь превысит 15 м<sup>2</sup>. При отсутствии спринклеров на стадии после вспышки при таком пожаре будет повреждено около 475 м<sup>2</sup>. При наличии спринклеров эта цифра уменьшится до 113 м<sup>2</sup>.

Вероятность вспышки представлена вероятностью повреждения площади, превышающей  $A_f$ , которая, например, на рис. 15 или в таблице А.15 равна 0,1 при использовании спринклеров и 0,25 - без них. Более подробная оценка вероятности ущерба, превышающего  $A_f$ , то есть для вероятности вспышки, обусловлена распределением вероятностей повреждения площади. Например, исходя из модели дерева событий,  $A_f$  для общественных площадей равен 4 м<sup>2</sup> без спринклеров и 7 м<sup>2</sup> со спринклерами. Вероятность ущерба, превышающая  $A_f$ , равна 0,40 и 0,09 без спринклеров и со спринклерами, соответственно. Но, согласно рис. 11, вероятность повреждения, превышающая соответствующее значение  $A_f$ , равна 0,27 без спринклеров и 0,09 со спринклерами. Вероятность повреждения, превышающая среднее значение 5 м<sup>2</sup> для  $A_f$ , равна 0,23 без спринклеров и 0,12 со спринклерами.



а) Дерево событий для сценария пожара с использованием спринклеров

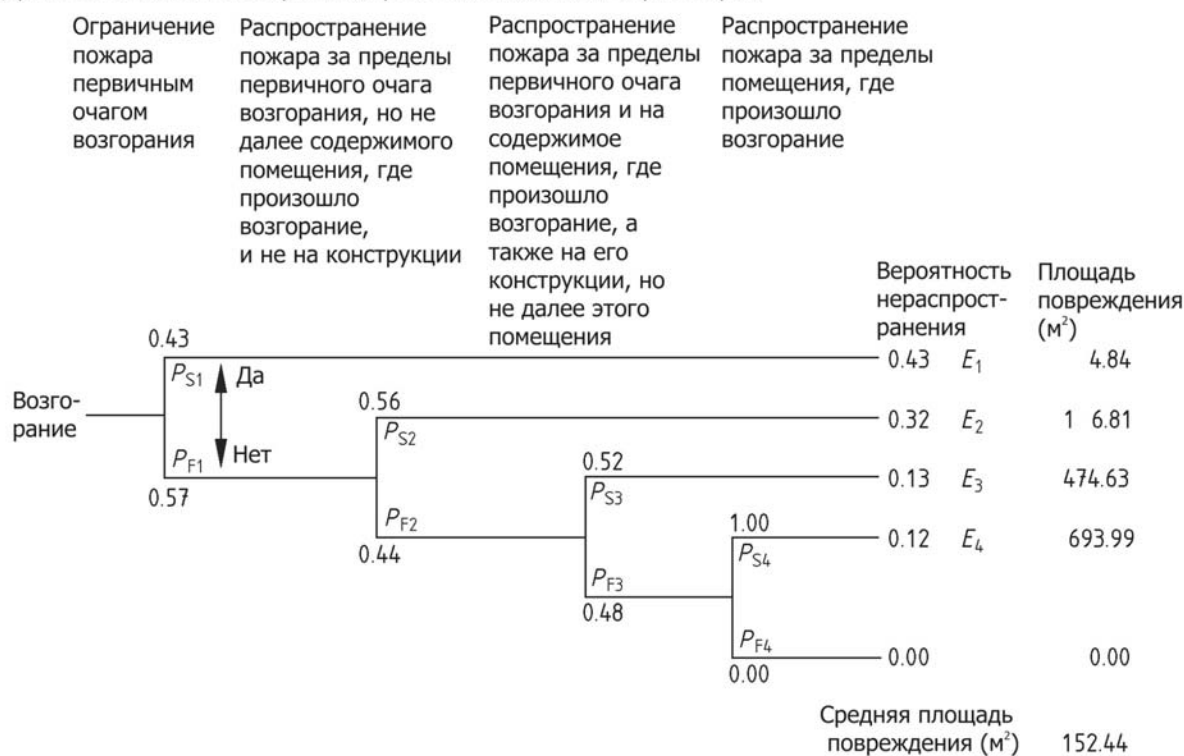


б) Дерево событий для сценария пожара без использования спринклеров

**Рис. 14. Деревья событий для пожаров в помещениях, оборудованных и не оборудованных спринклерными системами**



а) Дерево событий для сценария пожара с использованием спринклеров



б) Дерево событий для сценария пожара без использования спринклеров

**Рис. 15. Деревья событий для пожаров в производственных помещениях текстильных предприятий, оборудованных и не оборудованных спринклерными системами**

Тот факт, что площадь повреждения при вспышке будет одинакова как в помещении, оборудованном спринклерами, так и в помещении, не оборудованном спринклерами, является спорным. Однако, очевидно, что время достижения стадии вспышки будет больше при использовании спринклеров в помещении, так как они снизят скорость роста пожара. Для конкретного помещения с заданными размерами, пожарной нагрузкой и вентиляцией более подходящей будет оценка времени вспышки с применением детерминированной формулы и только затем оценка вероятной площади повреждения  $A_f$  при вспышке с применением экспоненциальной модели роста пожара. Затем с помощью распределения вероятностей площади повреждения осуществляется оценка вероятности повреждения, превышающего значение  $A_f$ .

Вероятность вспышки, оцениваемая с помощью модели дерева событий или распределения вероятностей площади повреждения, как правило, применима к «эталонному пожарному отсеку» «среднего размера» в заданном типе здания. Эти вероятности могут быть скорректированы для конкретного здания с заданным или известным размером пожарного отсека. Вероятность вспышки будет уменьшаться при увеличении размера отсека. В большом пожарном отсеке общая пожарная нагрузка, как правило, будет распределена таким образом, что плотность расположения объектов будет ниже. Следовательно, вероятность распространения огня от объекта к объекту в большом отсеке будет меньше, чем в небольшом, таким образом, уменьшая вероятность вспышки в целом. В отсеке большего размера требуется повреждение большей площади для выделения достаточного количества теплоты, способного вызвать вспышку, на что требуется больше времени. Данное дополнительное время повысит шанс обнаружения и тушения пожара.

С увеличением размера пожарного отсека общая пожарная нагрузка будет больше, и вероятность достижения более высокой тяжести пожара будет выше. Однако, при реальном пожаре в пожарном отсеке это увеличение вряд ли сыграет существенную роль. Более высокая тяжесть при реальном пожаре пропорциональна логарифму повреждения, которое имеет степенную взаимосвязь с размером помещения как показано в уравнении (2).

Если  $S_2$  и  $S_1$  – это степени тяжести, предполагаемые в помещениях размером  $A_2$  и  $A_1$  из уравнения (2), следовательно:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\ln c + d \ln A_2}{\ln c + d \ln A_1}. \quad (27)$$

При  $c = 4,43 \text{ м}^2$  и  $d = 0,57$ , тяжесть пожара в производственном здании текстильной промышленности, не оборудованном спринклерами, увеличится на 8%, если размер пожарного отсека вдвое больше, чем  $A_1 = 500 \text{ м}^2$ . Если размер отсека втрое больше, тяжесть пожара увеличится на 12%. Такие результаты, как правило, равны результатам, полученным на основе детерминированных формул, если предполагается, что коэффициент вентиляционных отверстий во внешней стене постоянен.

#### 6.2.8 Вероятность разрушения пожарных отсеков

Вероятность разрушения пожарных отсеков в результате воздействия пожара может быть оценена статистически. Такой подход не учитывает возможность разрушения пожарных отсеков на стадии до наступления вспышки из-за недостатков в делении здания на пожарные отсеки (открытые двери, отсутствие противопожарных преград). Однако, подобные характеры отказов могут быть отнесены к более широкому спектру анализа.

Если при пожаре происходит вспышка, отсек может быть разрушен под воздействием тепла, когда способность элемента конструкции (стены, пола или потолка) противостоять огню превышена вследствие высокой тяжести пожара на стадии после вспышки. Вероятность наступления нежелательного события – произведение  $P_c$  двух составляющих:

$$P_c = P_f / P_b, \quad (28)$$

где  $P_f$  – вероятность вспышки, а  $P_b$  – вероятность разрушения пожарных отсеков при вспышке.

Допустимый уровень для  $P_b$  может быть определен согласно оцененной вероятности вспышки  $P_f$ , и таким образом заданному допустимому уровню для произведения  $P_c$  в зависимости от ущерба жизни и имуществу при разрушении пожарного отсека:

$$P_b = P_c / P_f. \quad (29)$$

Упомянутая выше модель была применена для определения степени, в которой может быть уменьшена огнестойкость отсека, оборудованного спринклерами. Основываясь на уравнении (30), был предложен простой метод:

$$P_{b(s)} = \omega P_{b(ns)}, \quad (30)$$

где  $\omega$  – коэффициент, приведенный в таблице А.15, а  $P_{b(s)}$  и  $P_{b(ns)}$  – вероятности разрушения оборудованных и не оборудованных спринклерами отсеков при вспышке. В уравнении (30)

$$\omega = P_{f(ns)} / P_{f(s)}, \quad (31)$$

где  $P_{f(ns)}$  и  $P_{f(s)}$  – вероятности возникновения вспышки в отсеках, оборудованных и не оборудованных спринклерами. Из уравнений с (28) по (31) получаем:

$$P_{b(s)} P_{f(s)} = P_{b(ns)} P_{f(ns)} = P_c. \quad (32)$$

В вышеупомянутой простой модели огнестойкость, требуемая для отсека, не оборудованного спринклерами, определяется посредством принятия расчетной величины для плотности пожарной нагрузки, согласно высокому квантилю распределения ее частоты. Например, если уровень, определенный для вероятности разрушения отсека равен 0,2, то плотность пожарной нагрузки  $\bar{L}$ , соответствующая 80%-му квантилю распределения частоты, вставлена в уравнение (33):

$$t_e = C \omega \bar{L}, \quad (33)$$

где  $t_e$  – эквивалентная продолжительность пожара,  $C$  – тепловая характеристика границ отсека, а  $\omega$  – коэффициент вентиляции, основанный на площади окна и его высоте, площадях граничных поверхностей и общей площади. Тяжесть пожара  $S$  может быть принята равной  $t_e$  в минутах.

Вышеупомянутая модель была применена к офисным зданиям, торговым помещениям и гостиницам для того, чтобы оценить коэффициент спринклеров  $\varepsilon$ , определенный как отношение между расчетными плотностями пожарной нагрузки для отсеков, оборудованных и не оборудованных спринклерами. Для отсека, не оборудованного спринклерами, расчетная величина, соответствовала 80%-му квантилю распределения частоты плотности пожарной нагрузки, и, следовательно, соответствовала вероятности разрушения отсека равной 0,2. При значениях  $\omega > 3$  и  $P_{b(ns)} = 0,2$  значения  $P_{b(s)}$ , как показано в уравнении (30), были больше 0,6 для рассматриваемых помещений. Отсюда следует, что расчетная плотность пожарной нагрузки для отсека, оборудованного спринклерами, соответствовала квантилям менее чем на 40%.

Соответственно, значение коэффициента  $\varepsilon$ , который зависит от распределений плотности пожарной нагрузки для трех типов зданий, варьировалось от 0,53 до 0,68. Эти результаты показали, что огнестойкость отсеков, оборудованных спринклерами в этих зданиях, может составлять около 60% от огнестойкости, заданной для отсеков, не оборудованных спринклерами.

Хотя вышеописанный метод является простым и считается достаточным для определения огнестойкости, он не является статистически обоснованной процедурой, так как в расчет не принимаются неопределенности, контролируемые тяжесть пожара при реальном пожаре. Проведенные исследования показывают, что тяжесть пожара  $S$  имеет экспоненциальное кумулятивное распределение вероятностей.

$$P_{sv} = 1 - \exp(-\kappa S), \quad (34)$$

где  $P_{sv}$  – вероятность того, что тяжесть пожара равна или меньше  $S$ , а  $(1 - P_{sv})$  – вероятность того, что тяжесть пожара превысит  $v$ . Для офисных зданий  $\kappa = 0,04$ , так что среднее значение  $S = 25$  мин. ( $= 1/\kappa$ ), в соответствии со свойством экспоненциального распределения. Если огнестойкость  $R$  для офисного здания установлена в 30 минут, вероятность того, что тяжесть пожара превысит  $R$ , или вероятность разрушения отсека составит 0,30, как задано в формуле  $\exp(-30\kappa)$ . При  $R = 60$  минут, вероятность разрушения снижается до 0,09. Тяжесть пожара также может иметь нормальное распределение, так как она пропорциональна логарифму повреждения площади, который также имеет нормальное распределение.

В вышеописанном методе огнестойкость рассматривается как постоянная величина, тогда как тяжесть пожара рассматривается как случайная переменная. Однако, огнестойкость также является случайной переменной, вследствие неопределенностей, вызванных несколькими факторами. На сегодняшний день существует недостаточно данных для оценки вероятности распределения огнестойкости. Для данного типа распределения было предложено экспоненциальное или логарифмическое распределение исключительно из эвристических соображений.

## 6.3 Анализ надежности

### 6.3.1 Общие положения

Большинство систем обнаружения и защиты от пожара установлены из-за необходимости удовлетворения требованиям строительных норм или по требованию страховой компании, берущей на себя ответственность за риски. Детерминированный подход к пожарно-техническому анализу допускает, что установленная система сработает в день пожара. Детерминированный пожарно-технический анализ не рассматривает надежность систем в количественном отношении. В данном пункте рассматривается надежность систем, показано, как рассчитать степени надежности, и предложены значения надежности для различных систем и типов пожарной опасности. Для полноты информации дана краткая справка о теории надежности.

### 6.3.2 Надежность

Надежность – это мера способности системы нужным образом выполнять ее требуемую функцию при всех соответствующих условиях и случаях или во временных интервалах, в течение которых требуется ее функционирование.

Надежность, как правило, выражается как вероятность. Например, система, случайный отказ которой происходит раз в год, будет иметь вероятность отказа ( $P_F$ ) в любой из месяцев года  $1/12$ , то есть  $P_F = 0,0833$ . И наоборот, вероятность исправной работы ( $P_S$ ), то есть отсутствия отказов в течение обозначенного месяца будет  $9/10 = 0,9167$ , что является тем же самым, что и  $1 - P_F$ , то есть  $P_S = 1 - P_F$ , а при перестановке:  $P_F = 1 - P_S$ .

Математически эти выражения могут быть представлены как:

$$P_S = \exp(-\Delta t_S / \Delta t_F),$$

$$P_F = 1 - \exp(-\Delta t_S / \Delta t_F),$$

где  $\Delta t_S$  – временной интервал, в течение которого требуется исправная работа, а  $\Delta t_F$  – средняя наработка на отказ.

Для значений, где  $\Delta t_S / \Delta t_F = 0,1$  или меньше,  $P_F$  примерно равен  $\Delta t_S / \Delta t_F$ .

$$P_S = 1 - P_F,$$

$$P_S = \frac{1 - \Delta t_S}{\Delta t_F},$$

$$P_S = \frac{\Delta t_F - \Delta t_S}{\Delta t_F}.$$

Например, если средняя наработка на отказ составляет один год, и временной интервал, в течение которого требуется безотказная работа – один год, то вероятность отказа  $P_F$  на самом деле составляет не 12/12, то есть 1, а

$$P_F = 1 - \exp(-\Delta t_S / \Delta t_F), \text{ где } \Delta t_S / \Delta t_F = 1 \\ = 1 - 0,37 = 0,63.$$

Это обозначает 63%-ую возможность отказа в год. Вероятность исправной работы задается формулой:

$$P_S = 1 - P_F \\ = 1 - 0,63 \\ = 0,37.$$

Это обозначает 37%-ую возможность безотказной работы в любой конкретный год.

При рассмотрении надежности противопожарных систем на практике легче исходить из понятия ненадежности или вероятности отказа ( $P_F$ ). Принимая во внимание предыдущий пример, где средняя наработка на отказ составляла 1 год,  $P_F = 0,0833$  и  $P_S = 0,9167$ . Если средняя наработка на отказ будет улучшена в 10 раз, т.е. увеличится до 10 лет, то  $P_F$  изменится с 0,0833 до 0,00833, а  $P_S$  всего лишь с 0,9167 до 0,99167. Для системы, где отказ является причиной потенциальной опасности, например, разрушение стены пожарного отсека или системы тушения пожара, вероятность отказа  $P_F$  будет более точной единицей измерения риска.

### 6.3.3 Эксплуатационная готовность

Эксплуатационная готовность – это количество общего времени функционирования системы нужным образом. Для систем защиты или оповещения, таких как система пожарной сигнализации, отказ системы сам по себе не является причиной возникновения непосредственной опасности. Только отказ, происходящий при пожаре, приводит к опасным последствиям.

Рассматривая пример со средней наработкой на отказ равной одному году и допуская, что отказ обнаружен сразу же, но требуется неделя на его устранение, средняя величина нахождения системы в бездействии составляет одну неделю в год, то есть ее неготовность составляет  $1/52 = 0,019$ , а готовность -  $51/52 = 0,981$ .

Предполагая, что отказ не обнаружен сразу, а обнаружен только при проведении полного еженедельного испытания, временный простой может варьироваться от значения близкого к нулю (то есть, когда отказ случился прямо перед испытанием) до значения близкого к одной неделе (когда отказ случился сразу после испытания). Среднее время простоя, соответственно, будет равно половине недели. Неготовность по этой причине будет равна  $0,5/52 = 1/104 = 0,0096$ . Следует отметить, что это лишь часть вероятности отказа  $P_F$  для подобного периода в одну неделю.

Полное время простоя будет равно сумме его обоих видов, то есть исходя из немедленно обнаруженных отказов и отказов, обнаруженных во время регулярных испытаний. Также как в случае с надежностью, неготовность является более точным показателем правильного функционирования системы.

Возьмем систему пожарной сигнализации со средней наработкой на отказ равной одному году и общим временем простоя в среднем равным одной неделе на отказ. Ее неготовность будет составлять  $1/52$ . При допущении, что пожары в защищенной зоне происходят случайно, со средним временем между ними в один год, вероятность возникновения пожара в любую определенную неделю при неготовности оборудования равна  $1/52$  за пожар. Поскольку в среднем в год случается только один пожар, существует вероятность возникновения пожара именно в то время, когда пожарная сигнализация не будет работать, составляющая 1 раз в 52 года (среднее время между пожарными опасностями). Другими словами, среднее время между необнаруженными пожарами – это среднее время между пожарами, деленное на дробное число времени неработоспособности системы пожарной сигнализации.

$$\begin{aligned} \text{Среднее время между пожарными опасностями} &= \frac{\text{Среднее время между пожарами}}{\text{Неготовность системы пожарной сигнализации}} \\ &= \frac{1}{1/52} \\ &= 52 \text{ года} \end{aligned}$$

### 6.3.4 Факторы, влияющие на надежность системы

Рассматривая надежность любой системы, мы должны принимать во внимание различные факторы. Например, качество компонентов, используемых в системе, и их пригодность для данного использования; проектируемая нагрузка для этих компонентов; дополнительные нагрузки под влиянием факторов среды, в которой установлена система: допустимость изменений в производительности компонентов; программа испытаний, принятых для системы, и время между этими испытаниями. Все эти факторы могли бы вызвать последовательное и возможное недопустимое снижение надежности системы.

Рассматривая вопросы надежности, следует уделить внимание анализу информации и интерпретации результатов. Согласно статистике пожаров в Великобритании, в значительном количестве случаев спринклеры могли не сработать из-за «небольшой» мощности пожара и, соответственно, недостаточного количества теплоты, чтобы активировать головки спринклеров. Главными причинами несрабатывания спринклеров являются механические повреждения и отключения систем. Несмотря на то, что спринклеры участвуют только в 9% всех пожаров, они работают в 87% (= 39/45) случаев, когда требуется их действие. Это означает, что вероят-



ность срабатывания спринклеров в «крупных» или «растущих» пожарах составляет 0,87. Некоторые пожары, когда срабатывают спринклеры, бывают потушены самой системой, некоторые – пожарной командой.

#### 6.4 Стохастические модели

Обсуждаемые до настоящего момента статистические и вероятностные модели являются полезными для оценки риска в группе зданий с подобным уровнем риска. Приводимые на их примере оценки в целом применимы для здания «средних» параметров, но, как предложено, могут быть скорректированы для оценки риска в конкретном здании в группе. Однако, все же хотелось бы оценивать риск для конкретного здания, основываясь на характеристиках только этого здания.

Это становится возможным с помощью применения вероятностной модели, которая может спрогнозировать пространственное распространение пожара в здании как функцию времени. Проведен детальный обзор таких моделей. Две из них, модель Маркова и сетевая модель, широко используются для прогнозирования распространения пожара в здании. Основные особенности этих двух моделей рассматриваются в данном пункте.

Пожар в помещении обычно начинается с возгорания одного из предметов. Далее он распространяется на другие предметы в зависимости от расстояния между ними и таких факторов, как вентиляция и пожарная нагрузка. Данный процесс инициирует серию возгораний, называемых вспышкой и приводящих к созданию условий для полного развития пожара. Однако, есть шанс, что огонь остановится на определенной стадии по разным причинам и будет потушен до его дальнейшего распространения. Статистика реальных пожаров поддерживает данную гипотезу.

Как описано выше, в ходе своего развития пожар проходит несколько стадий и на каждой стадии есть вероятность, что он будет потушен. Он пребывает в каждой стадии в течение случайного периода времени, перед тем как перейти к следующей стадии. Этот переход (распространение) от стадии к стадии обусловлен вероятностями «перемещения». В общей картине пожара они возникают вследствие неопределенностей, вызванных некоторыми факторами. Распространение пожара является, по сути, стохастическим явлением, хотя в своем развитии он проходит через определенные детерминированные (физико-химические и термодинамические) процессы.

Стадии роста пожара, как правило, могут быть определены как «состояния». Пожар распространяется, двигается или переходит из состояния в состояние. Если пожар находится в состоянии  $a_i$  на  $n$ -ой минуте, он может быть в состоянии  $a_j$  на  $(n+1)$ -ой минуте, согласно вероятности перехода  $\lambda_{ij}^{(n)}$ . Вероятность сохранения пожара на стадии  $a_i$  на  $n$ -ой минуте без перехода в следующее состояние обозначается  $\lambda_{ii}^{(n)}$ . Для каждой минуты, с  $m$  состояниями, вероятности перехода  $\lambda_{ij}^{(n)}$  могут быть представлены в  $m \times m$  матрице  $(P_n)$ , где для каждого  $i$  сумма  $\lambda_{ij}$  при  $j = 1$  для  $m$  равна единице.

Вероятность нахождения пожара в различных стадиях в определенное время  $n$  представлена как вектор  $\vec{P}_n$  с элементами  $q_i^{(n)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , где  $q_i^{(n)}$  – вероятность нахождения пожара на стадии  $i$  во время  $n$ . Сумма вероятностей  $q_i^{(n)}$  по  $m$  состояний равна единице. Вектор, представленный произведением  $\vec{P}_n \times [P_n]$ , представляет вероятности огня в разных состояниях во время  $(n+1)$ , то есть на одну минуту позже. Если пожар начинается в состоянии  $a_i$ , первый элемент вектора  $\vec{P}_0$  при времени начала, обозначенном  $q_i^{(0)}$ , равен единице, а остальные элементы  $(m - 1)$  этого вектора равны нулю. При этом начальном условии вероятности нахождения пожара на разных стадиях в разное время могут быть выведены посредством повторного умножения матрицы  $\vec{P}_n \times [P_n]$ , начиная с  $\vec{P}_0 \times [P_0]$ , если вероятности для перехода матрицы  $P_n$  для разных периодов времени  $n$  могут быть оценены.

В простой модели Маркова вероятности перехода  $\lambda_{ij}^{(n)}$  рассматриваются как постоянные величины  $\lambda_{ij}$  (в минуту) независимо от временной переменной  $n$ . Берлин применил эту модель и оценил  $\lambda_{ij}$  для шести состояний, которые были определены как состояния для жилых зданий: состояние отсутствия пожара, устойчивое горение, интенсивное горение, горение с взаимодействием, изолированное горение и полное горение. Эти состояния были определены критическими событиями, характеризующимися скоростью выделения тепла, высотой пламени и температурой газа в верхней части помещения. Оценка  $\lambda_{ij}$  для разных  $i$  и  $j$  была основана на данных, взятых из более чем 100 натурных огневых испытаний. Берлин также оценил максимальную степень распространения пламени, вероятность самоликвидации и распределение интенсивности пожара. Модель роста пожара Бека была основана на шести типах состояний, определенных Берлином.

Состояние  $a_i$  в модели Маркова может представлять количество  $i$  горящих объектов в помещении, и вероятность перехода  $\lambda_{ij}$  из этого состояния к состоянию  $a_j$  с количеством горящих объектов  $j$ . Данные о скорости выделения тепла или тепловыделении, вентиляции и расстоянии между объектами в помещении могут дать

нам оценку  $\lambda_{ij}$  (в минуту). Затем для данного количества  $m$  объектов и исходных условий вероятности нахождения пожара в разных стадиях в разное время могут быть оценены повторяющимся умножением матриц. Если тушение огня не подразумевается, то без спада пожара переход от более высокого к более низкому состоянию не происходит. При данном допущении вспышка может быть определена как состояние, когда, скажем, происходит возгорание трех или четырех объектов. Затем модель дает оценку вероятностей вспышки,  $q_3^{(n)}$  или  $q_4^{(n)}$ , для разного времени  $n$ .

Модель перехода из одного состояния в другое – особая простая версия модели Маркова с неизменными (постоянными) вероятностями перехода. Дерево событий, такое, как представлено на рисунках 14 или 15, составляет простую модель перехода из одного состояния в другое, в которой пожар в помещении описан как проходящий в своем развитии четыре последовательные стадии или состояния, от  $E_1$  до  $E_4$ . Пожар может «перепрыгнуть» на  $E_4$  со стадии  $E_1$  или  $E_2$  без прохождения промежуточных стадий, но такие «прыжки» не рассматриваются в этой простой модели перехода. Параметры  $P_{Si}$  и  $P_{Fi}$  на рисунках 14 и 15 – это значения, к которым, в конечном счете, за промежуток времени стремятся вероятности перехода; они не являются значениями вероятности в минуту.  $E_1, E_2, E_3, E_4$  также являются предельными вероятностями того, что пожар будет в итоге потушен в течение четырех стадий. Параметры  $P_{Si}$  и  $P_{Fi}$  могут быть выражены в минутном значении, с помощью оценки продолжительности, при которой применимы их значения в дереве событий. Используя статистику пожаров, была разработана модель перехода из одного состояния в другое, в которой вероятности перехода оцениваются как функции времени.

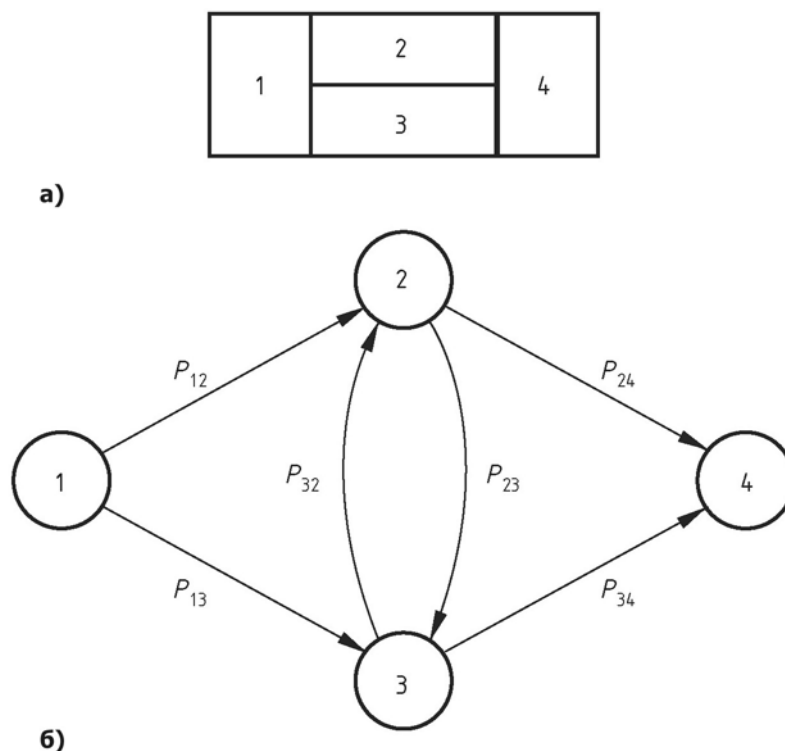
Подход модели перехода из одного состояния в другое также может быть принят для оценки вероятности распространения пожара от помещения к помещению в здании. Каждое помещение или коридор в здании имеют свою отдельную вероятность распространения пожара за свои пределы. Вероятность для помещения или пожарного отсека – это произведение вероятности вспышки и условной вероятности разрушения конструкции под воздействием тепла. Используя данные вероятности для разных помещений и коридоров, распространение огня в здании может рассматриваться как процесс дискретного распространения горения среди точек, абстрактно представленных как помещения, пространства или элементы здания. На примере трех помещений в исследовании был предложен метод, основанный на делении на части переходной матрицы для оценки среднего времени перехода к четвертой стадии, означающей горение всех трех помещений.

Главным недостатком модели Маркова является допущение о том, что вероятности перехода остаются неизменными, независимо от количества переходов, представляющих отрезок времени. Однако, продолжительность горения в определенном состоянии влияет на последующее распространение пожара. Например, вероятность того, что стена прогорит насквозь, увеличивается с увеличением тяжести пожара, которая является функцией времени. Продолжительность определенного состояния пожара может также зависеть от того, как было достигнуто данное состояние, то есть был ли рост или спад пожара. Некоторые пожары растут быстро, а некоторые медленно, в зависимости от высокой или низкой скорости выделения тепла. В модели Маркова отсутствует различие между угасающим и растущим пожаром.

Для каждого помещения в здании модель перехода из одного состояния в другое может оценить суммарную вероятность  $P_c$  при времени  $t_c$ , когда разрушаются границы конструкции помещения. Продолжительность  $\Delta t_c$  – это сумма  $\Delta t_f$ , обозначающей время возникновения вспышки, и  $\Delta t_b$ , обозначающей время, в течение которого элементы конструкции помещения могут противостоять тяжести пожара, достигнутой в течение стадии после вспышки. Вероятность  $P_c$  – это произведение вероятности вспышки  $P_f$  и вероятности разрушения конструкции  $P_b$ .

Пары значений ( $P_c$  и  $\Delta t_c$ ) для разных помещений могут в дальнейшем быть использованы в расширенной модели перехода из одного состояния в другое для прогнозирования распространения пожара в здании как функции времени. Эта процедура предусматривает трудоемкие и сложные вычисления. Задача может быть упрощена, если представить здание как сеть посредством определения помещений или пожарных отсеков как узловых элементов и определения связей между этими узлами как возможных путей распространения пожара от отсека к отсеку.

Рассмотрим, например, простой план на рис. 16а, изображающий четыре помещения, и соответствующие графы, показанные на рис. 16б, который также показывает вероятность распространения огня  $P_{ij}$  между каждой парой помещений ( $i, j$ ).



**Рис. 16. План помещения и соответствующая схема**

Этот рисунок был использован для рассмотрения вероятности разрушения конструкции при вспышке (то есть, игнорируя возможность того, что вспышка может не произойти). Конкретная задача, рассматриваемая авторами исследования, состояла в том, чтобы подсчитать вероятность распространения огня из помещения 1 в помещение 4, что могло произойти четырьмя способами:

- (1)→(2)→(4);
- (1)→(3)→(4);
- (1)→(2)→(3)→(4);
- (1)→(3)→(2)→(4).

Используя метод пространства событий, становится возможным просчитать все возможные «события» или комбинации распространения или нераспространения пожара определенными путями. Если  $e_{ij}$  представляет распространения пожара по пути  $ij$ , а  $\bar{e}_{ij}$  представляет нераспространения пожара по пути, тогда одно событие может быть таким:

$$[e_{12}, \bar{e}_{13}, e_{23}, \bar{e}_{24}, \bar{e}_{32}, e_{34}]$$

Получается  $2^6 = 64$  события. Все события будут исключительны, так как любая пара событий будет содержать, по крайней мере, один путь, по которому пожар распространяется в одном событии и не распространяется в другом. Вероятность каждого происходящего события – это произведение вероятностей их элементов, допуская, что элементы независимы. Таким образом, для примера, представленного выше, вероятность события составит:

$$P_{12}(1 - P_{13})P_{23}(1 - P_{32})(1 - P_{24})P_{34},$$

а общая вероятность – это сумма вероятностей всех 64 событий.

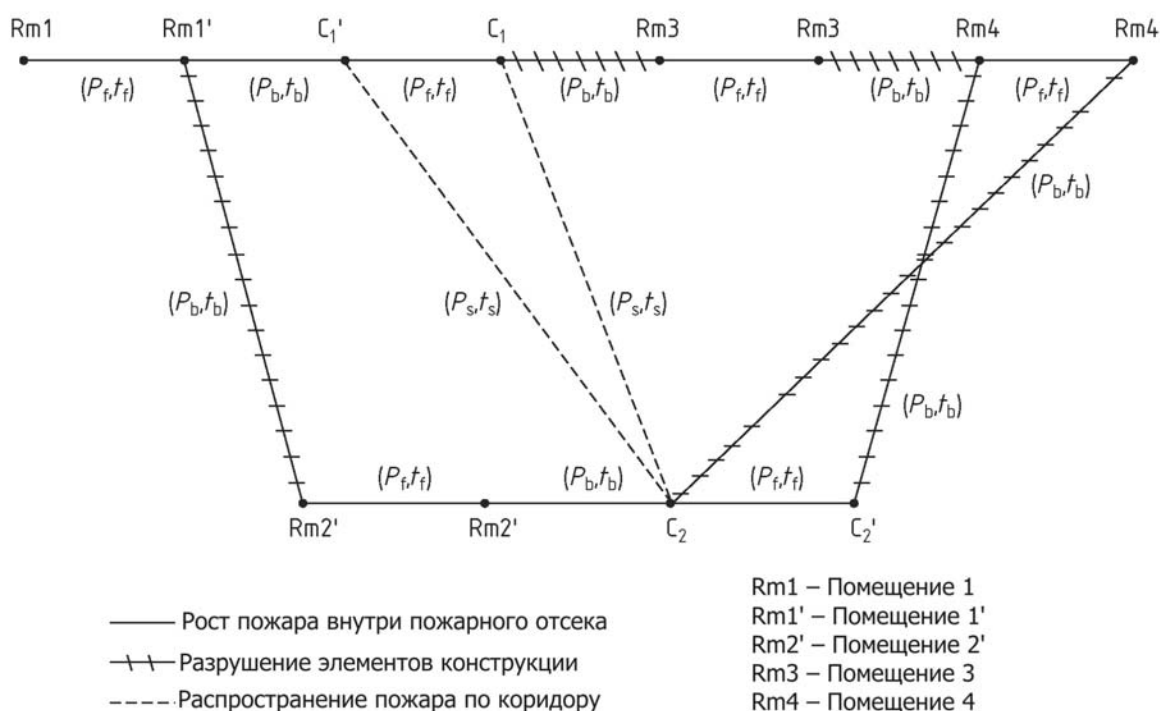
Полное пространство событий было представлено как дерево с 64 ветвями - метод, известный как «метод поиска по поддеревьям» для определения или поиска возможных путей, ведущих к узлу (помещению) 4 от узла 1. Подсчет производился для каждой пары помещений, а результаты были собраны в «матрице распространения пожара» со значениями единиц для диагональных элементов. Стержнем этой модели является вероятностный сетевой анализ, подсчитывающий вероятность распространения пожара в любой другой отсек внутри здания. Параметр «время» не был детально рассмотрен в этой модели, хотя он был косвенно выражен во многих используемых функциях. В аналогичной сетевой модели вероятность распространения зависит от времени.

Была предложена модель, в которой в первую очередь в сеть преобразовывается план этажа. Каждое звено в сети представляет возможный маршрут распространения огня, и эти звенья между узловыми элементами, соответствующие пространствам, отделенным стенами с дверьми, являются путями выхода. Сеть пространства далее формируется в вероятностную сеть распространения огня, как показано в примере на рис. 17 с четырьмя помещениями (помещения 1-4) и два отрезка коридора ( $C_1$  и  $C_2$ ). В помещении 1 и помещении 1' (штрих означает стадию после вспышки), первое звено выглядит так:

Помещение 1 → Помещение 1'

$(P_f, t_f)$ ,

где  $P_f$  - вероятность вспышки, а  $t_f$  - время вспышки.



**Рис. 17. Вероятностная сеть распространения пожара от помещения 1 к коридору  $C_2$**

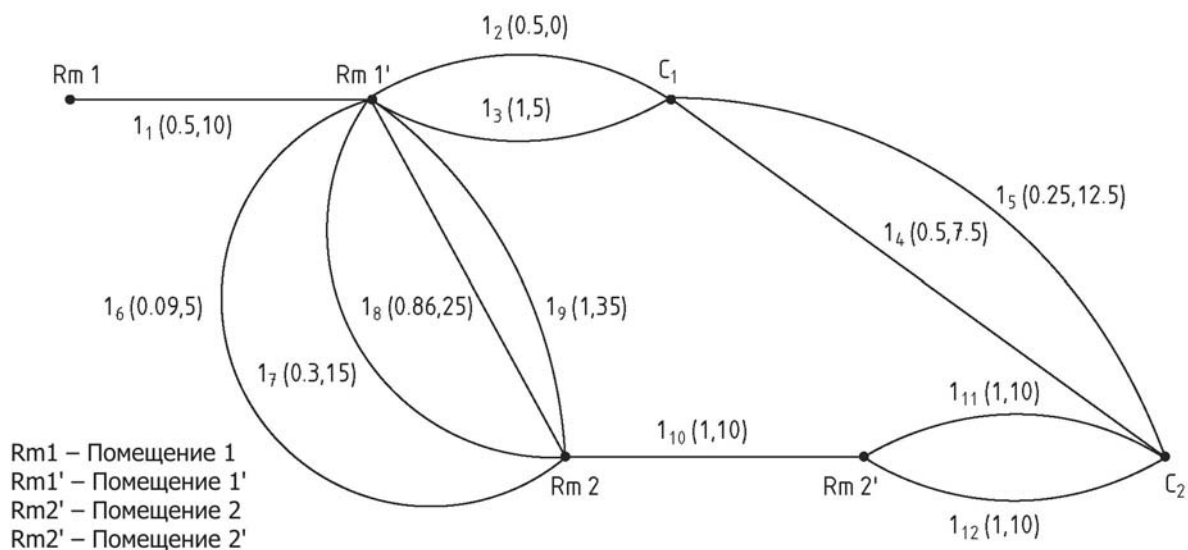
На рис. 17 определены три различных типа связующих звеньев. Первый соответствует росту пожара в помещении, второй – разрушению элементов конструкции, третий – распространению пожара по коридорам. Для каждого звена  $i$  установлена пара чисел  $(P_i, t_i)$ , где  $P_i$  представляет распределенную вероятность, что пожар пройдет по пути  $i$ , а  $t_i$  представляет распределение во времени, которое необходимо данному пожару для прохождения пути  $i$ . Отрезок коридора  $C_1$  напротив помещения 1 рассматривается как отдельный пожарный отсек и ему присвоены  $(P_f, t_f)$  для звена между  $C_1$  и  $C_1'$ . Числовая пара  $(P_s, t_s)$  представляет вероятность и время для стадии распространения пожара от коридора  $C_1$  к  $C_2$  перед вспышкой. Как только секция коридора  $C_1$  снаружи помещения 1 (то есть достигнут узел  $C_1'$ ) полностью вовлечена в огонь, распространение пожара в коридоре происходит больше за счет вентиляции в коридоре и состояния пожара в помещении 1, нежели под влиянием свойств материалов коридора. Таким образом, существует отдельное звено между  $C_1$  и  $C_2$ , имеющее свои собственные  $(P_s, t_s)$ . Числовая пара  $(P_b, t_b)$  представляет вероятность разрушения элемента конструкции при  $t_b$ , означающем сопротивляемость элемента конструкции.

Следующим шагом после построения вероятностной сети является ее решение с применением перечня возможных путей распространения пожара с количественными вероятностями и временем, связанным с каждым путем. Для этой цели может быть принят метод, основанный на «аварийной эквивалентной сети», чтобы подсчитать кратчайшее ожидаемое расстояние в сети. (Слово «кратчайшее» используется вместо «скорейшее» для последовательности изложения). Эта новая эквивалентная сеть вырабатывает ту же вероятность связности и то же кратчайшее ожидаемое время, что и изначальная вероятностная сеть. В этом методе каждое звено имеет вероятность исправной работы по Бернулли, и задержка времени звена детерминирована.

Следует отметить, что в эквивалентной сети распространения пожара существует много звеньев между узловыми элементами. Например, дверь между помещением 1 и коридором может быть закрыта либо открыта в то время, когда пожар вспыхнул в помещении 1. Например, используется допущение, что существует 50%-ый шанс, что дверь будет открыта, и что у открытой двери нулевая огнестойкость. Более того, предполагается, что если дверь закрыта, то ее огнестойкость составит пять минут. Следуя дальнейшим допущениям, может быть построена эквивалентная сеть распространения пожара (рис. 18) с двенадцатью возможными путями как на рис. 17, чтобы определить кратчайшее ожидаемое время распространения пожара за пределы помещения 1 в отрезок коридора  $C_2$ .

Аналогичная сеть (рис. 19) может быть построена для случая с самозакрывающимися дверями, имеющими огнестойкость 20 минут. В этом случае существует десять возможных путей. Для этих двух эквивалентных сетей все возможные пути перечислены в таблицах, где определено увеличивающееся время и составляющие звенья. Каждый из путей описывает сценарий пожара. Например, сценарий для пути 1 в таблице на рис. 18 начинается там, где происходит вспышка, и огонь переходит из помещения 1 через открытую дверь в отрезок коридора  $C_1$  и распространяется по отрезку коридора  $C_2$ . Вероятность такого сценария составляет 0,13. Время 17,5 минут – это сумма 10 минут для вспышки и 7,5 минут для распространения пожара от отрезка  $C_1$  к отрезку

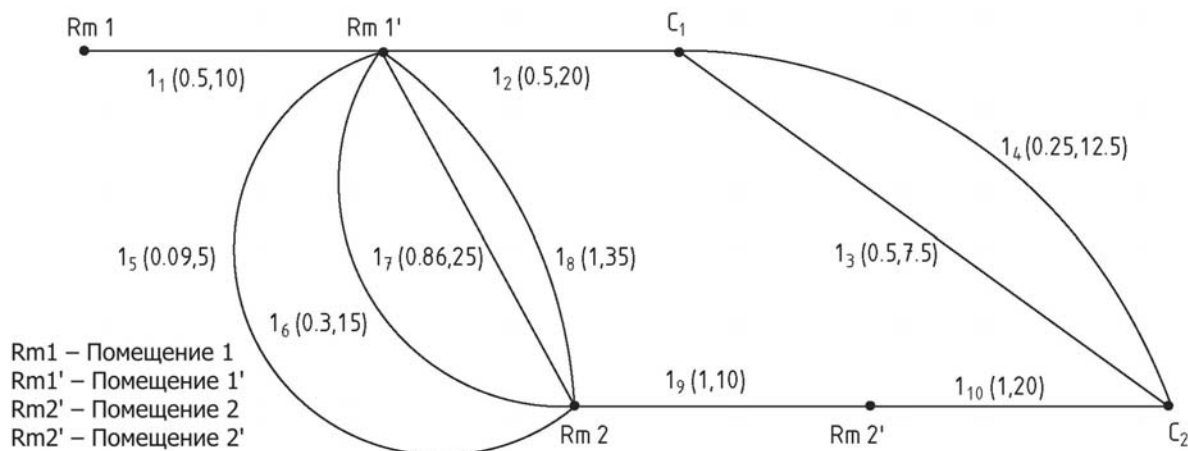
ку  $C_2$ .



**Рис. 18. Эквивалентная сеть распространения пожара с дверями в коридор, огнестойкость которых составляет 5 минут**

**Таблица 4. Эквивалентная сеть распространения пожара с дверями в коридор, огнестойкость которых составляет 5 минут**

Варианты $i$	Составляющие звенья	Вероятность $P_i$	Время $t_i$ мин.
1	1-2-4	0,13	17,5
2	1-2-5	0,06	22,5
3	1-3-4	0,25	22,5
4	1-6-10-11	0,02	25,0
5	1-3-5	0,13	27,5
7	1-6-10-12	0,05	30,0
8	1-7-10-12	0,08	35,0
9	1-8-10-11	0,21	35,0
10	1-8-10-12	0,43	40,0
11	1-9-10-11	0,25	50,0
12	1-9-10-12	0,50	55,0



**Рис.19. Эквивалентная сеть распространения пожара с samozакрывающимися дверями огнестойкостью 20 минут**

**Таблица 5. Эквивалентная сеть с допущением о samozакрывающихся дверях огнестойкостью 20 минут**

Варианты $i$	Составляющие звенья	Вероятность $P_i$	Время $t_i$ мин.
1	1-2-3	0,25	37,5
3	1-5-9-10	0,05	45
4	1-6-9-10	0,15	55
5	1-7-9-10	0,43	65
6	1-8-9-10	0,50	75

## 6.5 Анализ Монте-Карло

### 6.5.1 Общие положения

Инженеры по пожарной безопасности обязаны работать со сложными сценариями пожара, которые в дополнение к физическим и химическим процессам пожара, вызванным разнообразием горящих материалов, включают в себя реакции людей и их поведение. Физические модели, представляющие такие сценарии, включают в себя сложные в обработке математические отношения, которые не могут быть решены аналитическим путем. Кроме того, подходящие и реалистичные экспериментальные или статистические данные вряд ли доступны для оценки всех параметров физической модели. Для таких сложных моделей, решения могут быть найдены только путем численных методов с использованием пошаговых процедур моделирования.

Моделирование включает в себя построение работающей математической модели, представляющей динамическую систему, в которой процессы или взаимодействия носят характер, близкий к тем, которые существуют в конкретной или реальной системе, являющейся предметом моделирования или анализа. Модель должна включать реалистичные входные параметры, способные генерировать выходные данные, подобные или близкие тем, что есть в представленной системе. Затем, варьируя численными значениями входных параметров, становится возможным прогнозировать поведение системы во времени и определить, как она отреагирует на изменения в конструкции или в ее окружении. Подобные эксперименты моделирования могут быть выполнены на компьютере с использованием соответствующего программного обеспечения.

Имитационные модели могут быть дискретные либо непрерывные. С течением времени состояние здания постепенно меняется, поскольку небольшой пожар перерастает в крупный. Физические и химические процессы, присутствующие при росте такого пожара ведут к непрерывной имитационной модели. С другой стороны, дискретные имитации более подходят для определения «расчетного времени», связанного с обнаружением пожара, борьбой с ним и эвакуацией здания. Эти промежутки времени определяют основные события, дискретно случающиеся в течение последовательных четких стадий. В непрерывной модели изменения в переменных напрямую основаны на изменениях во времени. Обсуждение различных аспектов компьютерного моделирования для пожарно-технического анализа, а также примеры можно найти в литературе.

### 6.5.2 Моделирование методом Монте-Карло

Моделирование методом Монте-Карло – это имитационное моделирование, применимое к задачам, включающим в себя стохастические или вероятностные параметры. Например, некоторые входные параметры, такие как размер пожарного отсека или коэффициент вентиляции, могут быть детерминированными, так что для каждого из этих параметров в эксперименте по моделированию может быть использован ряд возможных значений. С другой стороны, некоторые входные параметры могут быть случайными переменными, принимающими значения согласно распределению вероятностей в течение развития пожара. К таким переменным относится, например, скорость распространения пламени и роста пожара, температура огня, концентрация дыма, температура окружающего воздуха, скорость и направление ветра, количество открытых дверей или окон и реакция людей на пожарную сигнализацию.

Рассмотрим в качестве примера стохастический параметр  $\chi_i$  со значением в момент времени  $t$  в ходе развития пожара  $\chi_i(t)$ . Точное значение  $\chi_i(t)$  может быть неизвестно, но может быть возможным оценить его среднюю величину  $\mu_i(t)$ , стандартное отклонение  $\sigma_i(t)$  и форму распределения вероятностей. Предположим, что это распределение нормальное, такое, при котором соответствующий аналог  $\tau_i$  для  $\chi_i(t)$  имеет стандартное нормальное распределение. Тогда при  $\tau_i = 1,96$  вероятность того, что значение стохастического параметра  $\chi_i$  при времени  $t$  меньше или равно значению, представленному следующим уравнением, равна 0,975:

$$\chi_i(t) = \mu_i(t) + \sigma_i(t)\tau_i.$$

Вероятность того, что значение стохастического параметра превысит значение, данное в приведенном выше уравнении, равна 0,025. Данное значение  $\chi_i(t)$  может рассматриваться как возможный максимум, в то время как значение, соответствующее  $\tau_i = -1,96$  в приведенном выше уравнении, будет возможным мини-

мумом. Вероятность того, что значение стохастического параметра будет меньше этого минимума, составляет 0,025.

Вместо максимального или минимального значения можно сгенерировать ряд случайных значений с помощью компьютерной модели «вращения колеса Монте-Карло» и выбора случайных значений стандартной нормальной переменной  $\tau_i$ . Фактически, каждый компьютер оснащен подпрограммой, которая может генерировать случайные числа. Этот процесс обеспечит получение случайной выборки для оценки меняющихся во времени отношений между входным параметром  $\chi_i$  и выходной переменной  $y_j$ . Выходная переменная может представлять такой количественный показатель, как площадь повреждения, отражающий ущерб имуществу или количество смертельных случаев или пострадавших, отражающие ущерб жизни и здоровью. Разработаны методы для генерирования нормальных и эмпирических распределений.

Распределение вероятностей выходной переменной  $y_j$  теперь может быть оценено с помощью значений случайной выборки нескольких входных переменных  $\chi_i$ , сгенерированных моделированием методом Монте-Карло. Некоторые входные переменные могут носить детерминированный характер, а некоторые могут быть стохастического или вероятностного типа. Возможно регрессировать выходную переменную  $y_j$  на входные переменные, используя метод множественного линейного регрессивного анализа, обсуждаемый в п.6.2.6. В этом анализе, как описано в п.6.2.6, может оказаться необходимым использовать логарифм  $y_j$  и логарифмы некоторых входных переменных, чтобы свести отношения между входными и выходными переменными к линейным. С помощью уравнения множественной регрессии затем рассчитывается ожидаемое значение выходной переменной  $y_j$  для данного ряда случайных или экстремальных (минимальных или максимальных) значений входных переменных  $\chi_i$  в любой отрезок времени в ходе развития пожара.

Моделирование методом Монте-Карло может использоваться для генерирования выборки значений для построения распределения вероятностей входной переменной, которая может быть неизвестна из-за нехватки данных, или чья математическая структура слишком сложна, чтобы ее можно было вывести теоретическим путем. Этот метод дает среднее значение, стандартное отклонение и другие параметры переменной для подтверждения или опровержения теоретических результатов.

Цель моделирования методом Монте-Карло – учесть неопределенности, обуславливающие входные и выходные переменные, включенные в систему пожарной безопасности, и оценить влияние входных переменных на выходные переменные. Предположим, что в заданное время выходные переменные  $y_j$  ( $j = 1, 2, \dots, M$ ) зависят от входных переменных  $\chi_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) согласно ряду функций:

$$y_j = f_j(\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n)$$

Далее, в окрестности чисел  $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n$ ,  $y_j$  может быть приблизительно оценена разложением функции в ряд Тейлора и затем, отбрасывая все члены уравнения после второго. Этот метод обеспечивает дисперсионно-ковариационные матрицы для входных и выходных переменных.

Предположим, что следующая линейная гипотеза верна.

$$y_j = \hat{a}_0 + \hat{a}_1\chi_1 + \hat{a}_2\chi_2 + \dots + \hat{a}_n\chi_n.$$

Если  $\bar{\chi}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) независимые случайные переменные со средним значением  $\bar{\chi}_i$  и дисперсией  $\sigma_i^2$ , среднее значение и дисперсия  $y_j$  даны в формулах:

$$y_j = \hat{a}_0 + \hat{a}_1\bar{\chi}_1 + \hat{a}_2\bar{\chi}_2 + \dots + \hat{a}_n\bar{\chi}_n,$$

$$\sigma_j^2 = \hat{a}_1^2\sigma_1^2 + \hat{a}_2^2\sigma_2^2 + \dots + \hat{a}_n^2\sigma_n^2.$$

Для входной переменной  $\chi_i$  рассмотрим в качестве примера скорость выделения тепла  $\dot{Q}$ , которая может увеличиться со временем  $t$  согласно квадратичной ( $t^2$ ) или экспоненциальной функции. Эта функция обеспечит расчет  $\dot{Q}$  в момент времени  $t$ , которое может рассматриваться как ожидаемое или среднее значение  $\mu_Q(t)$  для  $\dot{Q}$ . Но  $\dot{Q}$  – это случайная переменная, так как на нее влияют вентиляция и другие факторы. Отсюда, как обсуждалось выше,

$$\dot{Q}(t) = \mu_Q(t) + \sigma_Q(t) \cdot \tau_i,$$

где  $\sigma_Q(t)$  – это стандартное отклонение  $\dot{Q}(t)$ , а случайная переменная  $\tau_i$  предположительно может иметь стандартное нормальное распределение. Экспериментальные данные обеспечивают расчет  $\sigma_Q(t)$  для любого материала или объекта.

Случайные значения  $\dot{Q}(t)$  могут затем быть сгенерированы моделированием случайных значений  $\tau_i$ .

Массовый расход топлива  $\dot{m}$  – еще одна входная переменная со средним значением и стандартным отклонением, которая может быть рассчитана непосредственно на основе экспериментальных данных или из учета отношения:

$$\dot{Q} = \dot{m}H_c,$$

где  $H_c$  – эффективная теплота горения топлива, которая, как обычно предполагается, имеет значение 18 000 кДж/кг.

$\dot{Q}$  измеряется в кВт, а  $\dot{m}$  – в кг/с.

Параметры  $\dot{m}$  и  $\dot{Q}$  непосредственно связаны со скоростью, с которой за отрезок времени повреждается общая площадь пожарного отсека (см. п.6.2.4). Площадь повреждения – это выходная переменная, на которую также влияют другие входные переменные, такие как пожарная нагрузка, размеры пожарного отсека, коэффициент вентиляции и задержки в обнаружении пожара и начале тушения.

Разработаны компьютерные модели для имитации различных аспектов пожарного риска. Примеры моделей можно найти в литературе.

## 6.6 Частичные коэффициенты запаса

### 6.6.1 Введение

Функционирование многих компонентов или подсистем пожарно-технического анализа может быть выражено в виде случайных переменных  $\Omega$  и  $\Psi$ . Переменная  $\Omega$  выражает нагрузку, а переменная  $\Psi$  – прочность.

Рассмотрим в качестве примера пожарный отсек, где  $\Omega$  – тяжесть пожара, которой подвергаются границы конструкции пожарного отсека, а  $\Psi$  – огнестойкость границ. Как тяжесть пожара, так и огнестойкость обычно выражаются в единицах времени. Рассмотрим еще один пример, который касается эвакуации здания, где  $\Omega$  – время, в течение которого продукты горения приводят к созданию неприемлемых условий на пути эвакуации, а  $\Psi$  – время от начала возгорания, необходимое пользователю здания для преодоления пути эвакуации.

В первом примере разрушение пожарного отсека с последующим ущербом жизни и имуществу произойдет, если  $\Omega > \Psi$ , особенно в стадии после вспышки. Во втором примере «блокирование пути эвакуации» приведет к появлению пострадавших или смертельных случаев, если  $\Psi > \Omega$ . Цель проекта пожарной безопасности – уменьшить вероятность разрушения до допустимо низкого уровня. Существуют два общепринятых метода расчета этой вероятности. Первый метод, описанный в п.6.6, включает частичные коэффициенты запаса и является полувероятностным. Второй метод, описанный в п.6.7, является вероятностным и включает распределение вероятностей  $\Omega$  и  $\Psi$ ; он также известен как Бета-метод.

### 6.6.2 Собственные значения

Первый шаг в данном анализе заключается в выборе соответствующих значений  $\Omega$  и  $\Psi$ , которые являются типичными или собственными значениями, представляющими две случайные переменные. Эти значения могут быть, к примеру, средними значениями  $\mu_\Omega$  и  $\mu_\Psi$ , принадлежащими  $\Omega$  и  $\Psi$ , или же выражаться другими статистическими параметрами, такими как медиана (50-й процентиль) или мода (самое вероятное значение с самой высокой относительной частотой). Значение, относящееся к другому процентилю, например 80-му, 90-му или 95-му, также может быть выбрано как собственное значение  $\Omega$  или  $\Psi$ .

Рассмотрим расчетную задачу, в которой происходит отказ, если  $\Omega > \Psi$ , и исправная работа, если  $\Psi \leq \Omega$ . Например, разрушение пожарного отсека в результате теплового воздействия происходит, если тяжесть пожара  $S$  превышает огнестойкость  $R$ , и не происходит, если  $R \geq S$ . Принято присваивать элементу конструкции минимальную огнестойкость  $R_p$ , которая является больше максимальной тяжести пожара  $S_q$ , более вероятной на стадии после вспышки.  $R_p$  и  $S_q$  могут рассматриваться как собственные значения  $R_k$  и  $S_k$  для  $R$  и  $S$ .

Предположим, что  $\mu_R$  и  $\sigma_R$  являются средним значением и стандартным отклонением огнестойкости  $R$ , а  $\mu_S$  и  $\sigma_S$  – средним значением и стандартным отклонением тяжести пожара  $S$ . Если значения этих пара-



метров известны, то:

$$R_p = \mu_R - \tau_R \sigma_R, \quad (35)$$

$$S_q = \mu_S + \tau_S \sigma_S. \quad (36)$$

Если  $\nu_R$  и  $\nu_S$  являются коэффициентами изменения, имеющими вид:

$$\begin{aligned} \nu_R &= \sigma_R / \mu_R, \\ \nu_S &= \sigma_S / \mu_S, \end{aligned} \quad (37)$$

то:

$$R_p = \mu_R(1 - \nu_R \tau_R), \quad (38)$$

$$S_q = \mu_S(1 + \nu_S \tau_S). \quad (39)$$

Согласно неравенству Чебышева, независимо от того, какова вероятность распределения  $S$ , вероятность того, что тяжесть пожара превысит  $S_q$ , меньше или равна  $(1/\tau_S^2)$ . Например, при  $\tau_S = 2$  предел безопасности составляет не менее 75% [т.е.  $1 - (1/2)^2$ ]. Вероятность того, что тяжесть пожара превысит  $S_q$ , в этом случае составляет не более 0,25. Значения  $\tau_S$  и  $S_q$  могут быть выбраны в соответствии с любым установленным пределом безопасности. Например, при  $\tau_S = 3,16$  предел безопасности составляет не менее 90%. Вероятность того, что тяжесть пожара превысит  $S_q$  в этом случае составляет не более 0,10. В случае с минимальной огнестойкостью, если  $\tau_R = 3,16$ , вероятность того, что огнестойкость окажется меньше, чем  $R_p$ , заданная в уравнении (35), составляет не более 0,10, а вероятность того, что огнестойкость превысит  $R_p$  - не менее 0,90.

Предположим, что помимо средних значений и стандартных отклонений также известны распределения вероятностей  $R$  и  $S$ . Если, к примеру, эти распределения нормальные, значения  $\tau_R$  и  $\tau_S$  для заданных уровней вероятности могут быть взяты из таблиц стандартного нормального распределения. Например,  $\tau_S = 1,96$  соответствует квантилю 0,975 распределения вероятностей тяжести пожара. В этом случае вероятность того, что тяжесть пожара превысит значение  $S_q$ , данное в уравнении (35), составляет 0,025. Если  $\tau_S = 2,33$ , что соответствует квантилю 0,99, вероятность того, что тяжесть пожара превысит  $S_q$ , составляет 0,01. Вероятность того, что огнестойкость будет меньше значения  $R_p$ , данного в уравнении (35), составляет 0,025, если  $\tau_R = 1,96$ , и 0,01, если  $\tau_R = 2,33$ .

Средний максимум или другое значение, представляющее собственное значение  $S_k$  тяжести пожара, которое может быть достигнуто в пожарном отсеке, можно вычислить с помощью аналитической модели, такой как:

$$t_e = C \omega \bar{L}, \quad (40)$$

где  $C$  – постоянная величина, зависящая от термических свойств границ пожарного отсека,  $\omega$  – коэффициент вентиляции, а  $\bar{L}$  – плотность пожарной нагрузки. Коэффициент вентиляции имеет вид:

$$\omega = \frac{A_f}{(A_T A_v \sqrt{h})^{1/2}}, \quad (41)$$

где  $A_f$  – общая площадь пожарного отсека,  $A_T$  – площадь граничных поверхностей пожарного отсека, включая площадь вентиляционных отверстий ( $A_v$ ), а  $h$  – средневзвешенная высота вентиляционного отверстия. При этом, площадь выражена в квадратных метрах,  $h$  – в метрах,  $\bar{L}$  – в мегаджоулях на квадратный метр, а тяжесть пожара  $t_e$  – в минутах. Формулы (40) и (41) относятся к «эквивалентной продолжительности пожара». Соотношение прошло валидацию для пожарных отсеков размером до 100 м<sup>2</sup>.

В уравнении (40) параметры  $C$  и  $\omega$  могут считаться постоянными величинами для любого пожарного отсека с известными или заданными конструктивными (термическими) характеристиками, размерами, площадью и высотой вентиляционных отверстий.

Плотность пожарной нагрузки  $\bar{L}$  может рассматриваться как случайная величина, при которой средняя тяжесть пожара  $\mu_S$  рассчитывается введением в формулу значения плотности пожарной нагрузки  $\mu_{\bar{L}}$ :

$$\mu_S = C\omega\mu_L. \quad (42)$$

Стандартное отклонение тяжести пожара имеет вид:

$$\sigma_S = C\omega\sigma_L, \quad (43)$$

где  $\sigma_L$  – стандартное отклонение плотности пожарной нагрузки. Далее из уравнения (37) можно увидеть, что коэффициент изменения тяжести пожара  $\nu_S$  равен коэффициенту плотности пожарной нагрузки, заданному соотношением  $\sigma_L / \mu_L$ .

Огнестойкость элемента конструкции пожарного отсека может быть основана на критерии, что минимальная огнестойкость  $R_p$ , данная в уравнении (35), превышает максимальную тяжесть пожара  $S_L$ , данную в уравнении (36). Стандартное испытание на огнестойкость показывает, соответствует ли элемент конструкции данному критерию. Однако, при реальном пожаре огнестойкость является случайной переменной. Вариативность (разброс) зависит от используемых материалов. Например, огнестойкость стены из гипсокартона имеет большую вариативность, чем огнестойкость стены из бетонного блока. Огнестойкость стены из стали зависит от толщины изоляционного материала, общей массы изоляции и стали, среднего периметра защитного материала и коэффициента, представляющего значение теплопроводности материала.

Огнестойкость пожарного отсека, состоящего из разных элементов конструкции, не равна огнестойкости любого из этих элементов. На огнестойкость пожарного отсека влияет снижение прочности, вызванное наличием отверстий, дверей или иных проемов в преградах. Не существует достаточных данных для правильного расчета среднего значения  $\mu_R$  и стандартного отклонения  $\sigma_R$  огнестойкости пожарного отсека во время реального пожара. Сделать предположения о значении этих параметров можно только на основе данных, полученных в результате стандартных испытаний на огнестойкость и других экспериментов. Эти испытания и эксперименты могут дать представление о стандартном отклонении  $\sigma_R$  или коэффициенте изменения  $\nu_R$ , заданном в уравнении (37). Для простоты можно предположить, что огнестойкость имеет такое же распределение вероятностей, как и тяжесть пожара (например, нормальное).

Средняя огнестойкость  $\mu_R$ , необходимая для пожарного отсека – это выходной параметр, вычисленный по входным значениям  $\mu_S$  и  $\sigma_S$  тяжести пожара. Параметр  $\mu_R$  должен соответствовать расчетному критерию, по которому минимальная огнестойкость  $R_p$  по уравнению (35) превышает максимальную тяжесть пожара  $S_q$ , данную в уравнении (36).  $R_p$  и  $S_q$  включают в себя пределы безопасности, предусмотренные стандартными отклонениями  $\sigma_R$  и  $\sigma_S$  и параметрами  $\tau_R$  и  $\tau_S$ .

Как определено в уравнениях (40) и (41), тяжесть пожара состоит из нескольких факторов. Основываясь на данных, полученных в ходе огневых испытаний, огнестойкость в некоторых случаях также выражается как конечный результат нескольких факторов, например, стальных элементов тонких стен. Во всех таких случаях может считаться необходимым учитывать неопределенности, управляющие всеми факторами. Как правило, если переменная  $y$  является произведением нескольких переменных  $x_1, x_2, x_3 \dots$ , которые взаимно независимы, среднее значение  $y$  приблизительно задано произведением:

$$\bar{y} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \dots, \quad (44)$$

где они являются средними значениями переменных. Коэффициент изменений  $y$  приблизительно имеет вид:

$$\nu_y^2 = \nu_1^2 + \nu_2^2 + \nu_3^2 + \dots, \quad (45)$$

где  $\nu_1^2, \nu_2^2, \nu_3^2$  являются коэффициентами изменений  $x_1, x_2, x_3 \dots$

Результаты в уравнениях (44) и (45) основаны на разложении в отрезок ряда Тейлора функции

$$y = f(x_1, x_2, \dots).$$

При разложении не учтены вторые производные функции и производные более высокого порядка. Операция взятия вышеуказанных производных в подробном виде и различные аспекты вероятностной оценки противопожарной защиты конструкций можно найти в литературе.

Во втором примере, указанном в п.6.6.1 и относящемся к эвакуации здания, расчетный критерий состоит в том, что общее время эвакуации  $\Delta t_{esc}$  (определенное ранее как  $\Psi$ ) не должно превышать время  $\Delta t_{ten}$  (определенное ранее как  $\Omega$ ), которое требуется продуктам горения (например, дыму) на распространение за пределы источника возгорания и создание неприемлемого условия, например, снижения видимости на пути эвакуации. Общее время эвакуации  $\Delta t_{esc}$  – это сумма трех периодов. В заданной последовательности первый период  $\Delta t_{det}$  – время обнаружения пожара после его начала. Второй период  $\Delta t_{rec}$  в исследованиях человеческого поведения известен под названием «время распознавания» или «фаза сбора людей». Под этим периодом подразумевается время от обнаружения пожара до начала эвакуации. Третий период  $\Delta t_{evac}$  известный

как «расчетное время эвакуации» - это время, необходимое пользователю здания, чтобы добраться от того места, где он находится, до выхода, ведущего к пути эвакуации (например, на противопожарную лестничную клетку).

Период времени  $\Delta t_{det}$  зависит от наличия либо отсутствия автоматических систем обнаружения или тушения пожара, таких как спринклеры. Собственное значение для  $\Delta t_{det}$ , а также его стандартное отклонение могут быть установлены на основе статистики пожаров или испытаний противопожарных датчиков. По итогам исследований человеческого поведения в качестве собственного значения для  $\Delta t_{rec}$  рекомендуется значение равное 2 мин. Для любого типа здания собственное значение  $\Delta t_{evac}$  и его стандартное отклонение могут быть вычислены на основе пожарных учений или компьютерных моделей эвакуации. В стандарте BS 5588 рекомендуется значение  $\Delta t_{evac} = 2,5$  мин. Фактическое значение  $\Delta t_{evac}$ , помимо иных факторов, зависит от типа здания и физического состояния находящихся в нем людей. Детерминированные модели (например, FAST) и соответствующие пакеты компьютерных программ могут быть использованы для расчета собственного значения и стандартного отклонения  $\Delta t_{ten}$  для любого типа здания. Уменьшая скорость роста пожара и дыма, спринклеры увеличивают значение  $\Delta t_{ten}$ , если не могут потушить огонь. Вероятность того, что спринклеры смогут потушить огонь также высока, и в этом случае  $\Delta t_{ten}$  будет иметь бесконечное или большое значение.

Среднее значение  $\mu_{\Delta t,esc}$  общего времени эвакуации  $\Delta t_{esc}$  является суммой средних значений  $\Delta t_{det}$ ,  $\Delta t_{rec}$  и  $\Delta t_{evac}$ . Стандартное отклонение  $\sigma_{\Delta t,esc}$ , принадлежащие  $\Delta t_{esc}$ , имеет вид:

$$\sigma_{\Delta t,esc}^2 = \sigma_{\Delta t,det}^2 + \sigma_{\Delta t,rec}^2 + \sigma_{\Delta t,evac}^2, \quad (46)$$

где  $\sigma_{\Delta t,det}$ ,  $\sigma_{\Delta t,rec}$  и  $\sigma_{\Delta t,evac}$  являются стандартными отклонениями  $\Delta t_{det}$ ,  $\Delta t_{rec}$  и  $\Delta t_{evac}$ . Для любого пути эвакуации и места возгорания, среднее значение  $\mu_{\Delta t,ten}$  является суммой средних значений  $\Delta t_{ten}$  для разных продуктов горения. Учитывая разные пути эвакуации, места возгорания и продукты горения, можно вычислить общее среднее значение  $\Delta t_{ten}$  для любого здания или любого этажа здания. Расчет этого среднего значения осуществляется сложением средних значений  $\Delta t_{ten}$  для всех факторов, перечисленных выше. Следуя уравнению (45), квадрат стандартного отклонения общего значения  $\Delta t_{ten}$  есть сумма квадратов стандартных отклонений факторов. Уравнение (45) может использоваться для приблизительного расчета коэффициента изменения общего значения  $\Delta t_{esc}$  или  $\Delta t_{ten}$ .

Модель, описанная для эвакуации здания, была получена на основе уравнений подобных уравнениям с (35) по (39).

#### 6.6.3 Расчетные значения

При осуществлении пожарно-технического анализа на практике необходимо определить расчетные значения, включая частичные коэффициенты запаса  $\alpha_{\Omega}$  и  $\alpha_{\Psi}$  для учета неопределенностей в расчете собственных значений для случайных переменных  $\Omega$  и  $\Psi$ . В основном, источником неопределенностей являются параметры, включенные в аналитические модели или исключенные из них, используемые данные, предположения и допущения. После присвоения частичным коэффициентам запаса  $\alpha_{\Omega}$  и  $\alpha_{\Psi}$  значений больше единицы поправки на неопределенности должны быть в сторону большего запаса.

Рассмотрим сначала противопожарную защиту исходя из огнестойкости границ конструкции пожарного отсека. При частичном коэффициенте запаса  $\alpha_R$  больше единицы, расчетное значение  $R_d$  огнестойкости может быть вычислено по формуле:

$$R_d = R_k / \alpha_R, \quad (47)$$

где  $R_k$  – собственное значение.

Согласно уравнению (47),  $R_d$  будет меньше  $R_k$ . Это расчетное условие также будет соблюдено, если минимальное значение  $R_p$  в уравнении (35) будет рассматриваться как расчетное значение, а среднее значение  $\mu_R$  – как собственное значение. В этом случае, исходя из уравнений (38) и (47),  $\alpha_R$  является обратной величиной  $(1 - \nu_R \tau_R)$ . Расчетное значение тяжести пожара  $S_d$  вычисляется по формуле:

$$S_d = \alpha_S S_k, \quad (48)$$

где  $S_k$  – собственное значение, а  $\alpha_S$  больше единицы – частичный коэффициент запаса. Соответственно,

$S_d$  будет больше  $S_k$ . Это расчетное условие также будет соблюдено, если максимальное значение  $S_q$  в уравнении (36) рассматривается как расчетное значение, а среднее значение  $\mu_S$  – как собственное значение. В этом случае, исходя из уравнений (39) и (48),  $\alpha_S = (1 + v_S \tau_S)$ .

Например, если точность расчета  $R_k$  составляет до 15%, то:

$$\alpha_R = 1,176, R_d = 0,85R_k.$$

В то же время, если  $v_R = 0,2$ , и для  $\tau_R$  принято значение 1,96, то  $\alpha_R = 1,64$ .

Аналогичным образом, если известно, что точность расчета  $S_k$  составляет до 25%, то:

$$\alpha_S = 1,25, S_d = 1,25S_k.$$

В то же время, если  $v_S = 0,2$  и  $\tau_S = 1,96$ , то  $\alpha_S = 1,39$ .

Согласно расчетному требованию,  $R_d \geq S_d$ , следовательно, исходя из уравнений (47) и (48):

$$R_k \geq \alpha_R \alpha_S S_k. \quad (49)$$

Уравнение (49) описывает метод корректировки собственного значения  $S_k$  тяжести пожара для учета неопределенностей с помощью частичных коэффициентов запаса  $\alpha_R$  и  $\alpha_S$ . Дополнительные поправочные коэффициенты могут быть включены в уравнение (49) с правой стороны как дополнительные (мультипликативные) частичные коэффициенты запаса для соответствия требованиям надежности, отличающимся от обычных или стандартных требований. Поправки для конкретного здания или типа здания должны отражать рост или снижение пожарного риска относительно таких параметров, как средний риск, размер пожарного отсека, эффективность спринклеров (если они установлены), оперативность пожарной команды и других подобных факторов, влияющих на тяжесть пожара.

Для эвакуационной модели расчетное значение  $\Delta t_{esc(d)}$  для общего времени эвакуации  $\Delta t_{esc}$  имеет вид:

$$\Delta t_{esc(d)} = \Delta t_{esc(k)} \alpha_{\Delta t, esc}, \quad (50)$$

где  $\Delta t_{esc(k)}$  – собственное значение,  $\alpha_{\Delta t, esc}$  – частичный коэффициент запаса больше единицы. Максимальное общее время эвакуации

$$\Delta t_{esc(q, ki)} = \mu_{\Delta t, esc} (1 + v_{\Delta t, esc} \tau_{\Delta t, esc})$$

может рассматриваться как расчетное значение, а среднее  $\mu_{\Delta t, esc}$  – как собственное значение. В этом случае:

$$\alpha_{\Delta t, esc} = (1 + v_{\Delta t, esc} \tau_{\Delta t, esc}),$$

где  $v_{\Delta t, esc}$  является коэффициентом изменения  $\Delta t_{esc}$ , а  $\tau_{\Delta t, esc}$  – параметр, аналогичный  $\tau_R$  в уравнении (35) или  $\tau_S$  в уравнении (36).

Расчетное значение для времени продуктов горения  $\Delta t_{ten}$  имеет вид:

$$\Delta t_{ten(d)} = \Delta t_{ten(k)} / \alpha_{\Delta t, ten}, \quad (51)$$

где  $\Delta t_{ten(k)}$  – собственное значение, а  $\alpha_{\Delta t, ten}$  – частичный коэффициент запаса больше единицы. Минимальное значение  $\Delta t_{ten}$  по формуле

$$\Delta t_{ten(p)} = \mu_{\Delta t, ten} (1 - v_{\Delta t, ten} \tau_{\Delta t, ten})$$

может рассматриваться как расчетное значение, а среднее значение  $\mu_{\Delta t, ten}$  – как собственное значение. В этом случае  $\alpha_{\Delta t, ten}$  является обратной величиной  $(1 - v_{\Delta t, ten} \tau_{\Delta t, ten})$ . Параметр  $v_{\Delta t, ten}$  – коэффициент изменения  $\Delta t_{ten}$ , а  $\tau_{\Delta t, ten}$  – постоянная величина подобная  $\tau_{\Delta t, esc}$ .

Поскольку расчетный критерий для успешной эвакуации составляет

$$\Delta t_{esc(d)} \leq \Delta t_{ten(d)}, \text{ то:}$$

$$\Delta t_{esc(k)} \leq \Delta t_{ten(k)} / \alpha_{\Delta t, ten} \alpha_{\Delta t, sec}$$

или

$$\Delta t_{ten(k)} \geq \Delta t_{esc(k)} \alpha_{\Delta t, ten} \cdot \alpha_{\Delta t, sec}. \quad (52)$$

Цель включения частичных коэффициентов запаса  $\alpha_{\Delta t, ten}$  и  $\alpha_{\Delta t, esc}$  в процесс расчета заключается в том,

чтобы удостовериться, что максимальное или любое другое расчетное значение для общего времени эвакуации  $\Delta t_{esc}$  не превышает минимальное или любое другое расчетное значение для времени продуктов горения  $\Delta t_{ten}$ .

В рассмотренном здесь полувероятностном подходе выбор значений частичных коэффициентов запаса основывается на экспертной оценке, осуществляемой инженером по пожарной безопасности, а также качестве доступной информации о расчетах значений параметров. Вместо принятия такого эмпирического и интуитивного методов, частичные коэффициенты запаса могут быть получены из распределений вероятностей используемых переменных. Этот метод, основанный на «расчетной точке», описан в литературе.

## 6.7 Бета-метод

### 6.7.1 Вероятностный расчетный критерий

При вероятностном подходе детерминированный расчетный критерий  $\Psi \geq \Omega$  преобразуется в:

$$P(\Psi \geq \Omega) \geq 1 - P_g, \quad (53)$$

где  $P(\Psi \geq \Omega)$  обозначает вероятность того, что прочность  $\Psi$  больше или равна нагрузке  $\Omega$ , что эквивалентно вероятности исправной работы.  $P_g$  – (небольшая) установленная вероятность (риск), допустимая для владельца или общества в целом. Значение  $P_g$  зависит от последствий с учетом ущерба жизни и имуществу в случае отказа. Вероятность отказа должна быть меньше  $P_g$ :

$$P(\Psi < \Omega) < P_g. \quad (54)$$

Если  $\Psi$  – огнестойкость  $R$ , а  $\Omega$  – тяжесть пожара  $S$ , то вероятностный расчетный критерий для исправной работы пожарного отсека имеет вид:

$$P(R \geq S) \geq 1 - P_g. \quad (55)$$

Вероятность разрушения пожарного отсека не должна превышать  $P_g$ :

$$P(R < S) < P_g. \quad (56)$$

При эвакуации здания  $\Omega$  – это время  $\Delta t_{ten}$ , в течение которого продукты горения создают неприемлемые условия на пути эвакуации, а  $\Psi$  – общее время эвакуации  $\Delta t_{esc}$ . В этом случае уравнение (53) для успешной эвакуации преобразуется в

$$P(\Delta t_{esc} \leq \Delta t_{ten}) \geq 1 - P_g. \quad (57)$$

Вероятность блокирования пути эвакуации не должна превышать  $P_g$ :

$$P(\Delta t_{esc} > \Delta t_{ten}) < P_g. \quad (58)$$

Вероятностные методы занимаются вычислением  $P_g$  и  $(1 - P_g)$  для различных комбинаций  $\Omega$  и  $\Psi$ .

Метод вычисления учитывает неопределенности посредством распределения вероятностей  $\Omega$  и  $\Psi$ .

### 6.7.2 Одномерный подход

При данном подходе только переменная нагрузки  $\Omega$  рассматривается как случайная переменная, а переменная прочности  $\Psi$  – как постоянная величина. Этот подход обычно применяется инженерами по пожарной безопасности для определения огнестойкости элементов конструкции. Кумулятивная функция распределения вероятностей тяжести пожара  $S$  обозначается как  $P_s(\Omega)$ , что означает вероятность тяжести пожара меньше или равную  $\Omega$ . Если огнестойкость  $R$  элемента конструкции приравнена к  $\Omega$ , вероятность того, что тяжесть пожара  $S$  превысит  $R$ , составляет  $[1 - P_s(R)]$ , что является вероятностью разрушения элемента.

Рассмотрим сначала экспоненциальное распределение вероятностей тяжести пожара  $S$ :

$$P_s(x) = 1 - \exp(-\lambda_s x). \quad (59)$$

Согласно свойству этого распределения,  $\lambda_s$  является обратной величиной среднего значения  $\mu_s$  тяжести пожара. Болдвин вычислил, что  $\mu_s = 25$  мин. для офисных зданий, что дает  $\lambda_s = 0,04$ . Из уравнения (59) видно, что при  $R = x = 25$  мин., вероятность разрушения составляет:

$$\begin{aligned} 1 - P_s(R) &= \exp(-\lambda_s R) \\ &= \exp(-1) \\ &= 0,37, \end{aligned}$$

что не является малой величиной. Однако вероятность разрушения уменьшается до 0,09 при  $R = 60$  мин. и

до 0,03 при  $R = 90$  мин., и т.д.

Если тяжесть пожара  $S$  имеет нормальное распределение со средним значением  $\mu_S$  и стандартным отклонением  $\sigma_S$ , нормированная случайная переменная  $\tau$  по формуле

$$\tau = (S - \mu_S) / \sigma_S \quad (60)$$

имеет стандартное нормальное распределение с нулевым средним значением и стандартным отклонением равным единице. Исходя из уравнения (60)

$$S = \mu_S + \tau \sigma_S. \quad (61)$$

Если огнестойкость элемента конструкции приравнена к  $S$ , а  $\tau = 0$ , так что  $R = \mu_S$ , вероятность исправной работы или разрушения элемента при пожаре составляет 0,5. Однако, при  $R = S$  и  $\tau = 1,96$  в уравнении (61) вероятность исправной работы в соответствии с кумулятивной функцией распределения  $\tau$  составляет 0,975, а вероятность разрушения составляет 0,025. При  $\tau = 2,33$  вероятность исправной работы составляет 0,99, а вероятность разрушения – 0,01. Вероятности исправной работы и разрушения при различных значениях  $\tau$  можно взять из таблицы стандартного нормального распределения. На основании этой таблицы огнестойкость, необходимая для соблюдения любого заданного уровня вероятности разрушения, может быть определена с помощью использования в уравнении (61) значения  $\tau$ , соответствующего этому уровню.

### 6.7.3 Двумерный подход

При данном подходе, более известном под названием Бета-метод, как нагрузка, так и прочность рассматриваются как случайные переменные, находящиеся под влиянием неопределенностей. Разница  $(\Psi - \Omega)$  является «пределом безопасности», который также называется «функцией состояния». Предполагаемое значение случайной переменной

$$\Theta = \Psi - \Omega \quad (62)$$

имеет вид:

$$\mu_\Theta = \mu_\Psi - \mu_\Omega, \quad (63)$$

где  $\mu_\Psi$  и  $\mu_\Omega$  – средние значения  $\Psi$  и  $\Omega$ . Стандартное отклонение  $\Theta$ :

$$\sigma_\Theta = (\sigma_\Psi^2 + \sigma_\Omega^2)^{1/2}, \quad (64)$$

где  $\sigma_\Psi$  и  $\sigma_\Omega$  являются стандартными отклонениями  $\Psi$  и  $\Omega$ . «Коэффициент надежности»  $\beta$  имеет вид:

$$\beta = \mu_\Theta / \sigma_\Theta. \quad (65)$$

Сначала рассмотрим, как определить огнестойкость, необходимую для того, чтобы элемент конструкции соответствовал заданному событию, которое может привести к вероятности разрушения. Если среднее значение и стандартное отклонение огнестойкости  $R$  – это  $\mu_R$  и  $\sigma_R$ , а среднее значение и стандартное отклонение тяжести пожара  $S$  – это  $\mu_S$  и  $\sigma_S$ , среднее значение и стандартное отклонение функции состояния  $\Theta = R - S$  имеют вид:

$$\mu_\Theta = \mu_R - \mu_S, \quad (66)$$

$$\sigma_\Theta = (\sigma_R^2 + \sigma_S^2)^{1/2}. \quad (67)$$

«Коэффициент надежности»  $\beta$  имеет вид:

$$\beta = \mu_\Theta / \sigma_\Theta = (\mu_R - \mu_S) / (\sigma_R^2 + \sigma_S^2)^{1/2}. \quad (68)$$

Необходимая огнестойкость может быть установлена сообразно с  $\mu_R$  с помощью следующего уравнения:

$$\mu_R = \mu_S + \beta(\sigma_R^2 + \sigma_S^2)^{1/2}. \quad (69)$$

Если  $R$  и  $S$  имеют нормальные распределения, то параметр  $\beta$  имеет стандартное нормальное распределение. В этом случае значение  $\beta$ , соответствующее любому заданному уровню вероятности разрушения, может быть взято из таблицы стандартного нормального распределения. Это значение затем можно вставить в уравнение (69) для получения огнестойкости  $\mu_R$ , необходимой элементу конструкции. Как описано в п.6.6.2 относительно переменной  $\tau$ , вероятность разрушения элемента конструкции равна 0,5 при  $\beta = 0$  и  $\mu_R = \mu_S$ , меньше 0,5 при положительном значении  $\beta$  и  $\mu_R > \mu_S$ , и больше 0,5 при отрицательном значении  $\beta$  и  $\mu_R < \mu_S$ . Вероятность разрушения составит 0,025 при  $\beta = 1,96$ , 0,01 при  $\beta = 2,33$  и 0,001 при  $\beta = 3,09$ . Для ряда значений  $\beta$  в таблице 6 приведены вероятности исправной работы и разрушения элемента.

**Таблица 6. Вероятности исправной работы и разрушения конструкции  
(нормальное распределение)**

Вероятность исправной работы ( $1 - P_g$ )	Вероятность разрушения ( $P_g$ )	$\beta$	$\theta(r = 0,15)$
0,0001	0,9999	-3,7190	0,3993
0,0005	0,9995	-3,2905	0,4573
0,0010	0,9990	-3,0902	0,4848
0,0020	0,9980	-2,8782	0,5145
0,0025	0,9975	-2,8070	0,5245
0,0050	0,9950	-2,5758	0,5576
0,0100	0,9900	-2,3263	0,5941
0,0250	0,9750	-1,9600	0,6494
0,0500	0,9500	-1,6449	0,6990
0,1000	0,9000	-1,2816	0,7587
0,2000	0,8000	-0,8416	0,8355
0,3000	0,7000	-0,5244	0,8945
0,4000	0,6000	-0,2533	0,9477
0,5000	0,5000	0,0000	1,0000
0,6000	0,4000	0,2533	1,0552
0,7000	0,3000	0,5244	1,1180
0,8000	0,2000	0,8416	1,1969
0,9000	0,1000	1,2816	1,3181
0,9500	0,0500	1,6449	1,4307
0,9750	0,0250	1,9600	1,5398
0,9900	0,0100	2,3263	1,6832
0,9950	0,0050	2,5758	1,7934
0,9975	0,0025	2,8070	1,9064
0,9980	0,0020	2,8782	1,9437
0,9990	0,0010	3,0902	2,0626
0,9995	0,0005	3,2905	2,1869
0,9999	0,0001	3,7190	2,5043

Рассмотрим, как определить общее время эвакуации  $\Delta t_{esc}$ , соответствующее заданному уровню вероятности блокирования пути эвакуации. Функцию состояния в этом случае можно записать в виде  $\Theta = \Delta t_{ten} - \Delta t_{esc}$ , так что среднее значение и стандартное отклонение  $\Theta$  имеют вид:

$$\mu_{\Theta} = \mu_{\Delta t, ten} - \mu_{\Delta t, esc} \quad (70)$$

$$\sigma_{\Theta} = (\sigma_{\Delta t, ten}^2 + \sigma_{\Delta t, esc}^2)^{1/2}. \quad (71)$$

Параметры  $\mu_{\Delta t, ten}$  и  $\sigma_{\Delta t, ten}$  являются средним значением и стандартным отклонением  $\Delta t_{ten}$ , а  $\mu_{\Delta t, esc}$  и  $\sigma_{\Delta t, esc}$  являются средним значением и стандартным отклонением  $\Delta t_{esc}$ . Коэффициент надежности  $\beta$  имеет вид:

$$\beta = \mu_z / \sigma_z = \frac{\mu_{\Delta t, ten} - \mu_{\Delta t, esc}}{(\sigma_{\Delta t, ten}^2 + \sigma_{\Delta t, esc}^2)^{1/2}}. \quad (72)$$

Необходимое общее время эвакуации может быть задано в соответствии с  $\mu_{\Delta t, esc}$  в следующем уравнении:

$$\mu_{\Delta t, esc} = \mu_{\Delta t, ten} - \beta(\sigma_{\Delta t, ten}^2 + \sigma_{\Delta t, esc}^2)^{1/2}. \quad (73)$$

Если  $\Delta t_{ten}$  и  $\Delta t_{esc}$  имеют нормальное распределение, как показано ранее, то  $\beta$  имеет стандартное нормальное распределение. Вероятность блокирования пути эвакуации составляет 0,5 при  $\beta = 0$  и  $\mu_{\Delta t, esc} = \mu_{\Delta t, ten}$ , меньше 0,5 при положительном значении  $\beta$  и  $\mu_{\Delta t, esc} < \mu_{\Delta t, ten}$ , больше 0,5 при отрицательном значении  $\beta$  и  $\mu_{\Delta t, esc} > \mu_{\Delta t, ten}$ . Вероятность блокирования пути эвакуации составит 0,025 при  $\beta = 1,96$ , 0,01 при  $\beta = 2,33$ , и 0,001 при  $\beta = 3,09$ . Данные таблицы 6 можно использовать совместно с уравнением (73) для расчета общего времени эвакуации в соответствии с заданным уровнем вероятности блокирования пути эвакуации. Следует отметить, что в уравнении (69)  $\beta$  идет со знаком плюс, а в уравнении (73) – со знаком минус.

Чтобы удовлетворить условию, заданному в уравнении (73), может быть необходимо установить автоматические датчики и/или спринклеры, если здание еще не оснащено данными устройствами. Эти приборы могут снизить время обнаружения  $\Delta t_{det}$ , и, следовательно, уменьшить  $\mu_{\Delta t,esc}$ . Спринклеры могут также увеличить время создания неприемлемых условий продуктами горения  $\mu_{\Delta t,ten}$ . Кроме того, сократить общее время эвакуации  $\mu_{\Delta t,esc}$  можно, обеспечив наличие дополнительных или более широких лестниц.

При блокировании пути эвакуации существует вероятность  $P_d$  наступления одного или более смертельных случаев. Эта вероятность может быть вычислена путем анализа статистики пожаров. Согласно анализу данной статистики за период с 1978 по 1988 года, среднее время обнаружения пожара в одно- и многоквартирных домах составляло 10 минут, при этом  $\Delta t_{rec} = 2$  мин. и  $\Delta t_{evac} = 3$  мин., а среднее общее время эвакуации  $\mu_{\Delta t,esc} = 15$  мин. Предположительно, среднее значение времени  $\mu_{\Delta t,ten}$ , в течение которого воздействие продуктов горения приводило к смерти людей, составляло 15 мин., таким образом, вероятность блокирования пути эвакуации составляла 0,5. С коэффициентом смертности из расчета на пожар равным 0,013 значение  $K$  составило 0,026 ( $=0,013/0,5$ ).

#### 6.7.4 Коэффициент запаса

Коэффициент запаса  $\theta$ , соответствующий коэффициенту надежности  $\beta$ , может быть представлен в виде соотношения средних значений переменных нагрузки и прочности. В случае разрушения конструкции

$$\theta = \mu_R / \mu_S, \quad (74)$$

так что из уравнения (68):

$$\beta = \frac{(\theta - 1)}{(v_R^2 \theta^2 + v_S^2)^{1/2}}, \quad (75)$$

где, как определено в уравнении (37),  $v_R$  и  $v_S$  являются коэффициентами изменения и имеют вид:

$$v_R = \sigma_R / \mu_R; v_S = \sigma_S / \mu_S.$$

Для облегчения расчетов уравнение (75) может быть преобразовано в следующее уравнение:

$$\theta = \frac{1 + \beta(v_R^2 + v_S^2 - \beta^2 v_R^2 v_S^2)^{1/2}}{1 - \beta^2 v_R^2}. \quad (76)$$

Уравнение (70) имеет решение, только если  $v_R < 1/\beta$ .

Если  $v_R = v_S = r$ , уравнение (76) упрощается до:

$$\theta = \frac{1 + \beta r(2 - \beta^2 r^2)^{1/2}}{1 - \beta^2 r^2}. \quad (77)$$

При  $r = 0,15$  значения  $\theta$ , соответствующие  $\beta$ , приведены в таблице 6 для разных вероятностей разрушения.

При подходе с использованием коэффициентов запаса среднее значение огнестойкости должно быть равно или больше значения по формуле  $(\theta \mu_S)$ . Предположим, что вероятность разрушения конструкции должна быть меньше 0,005. В этом случае при  $r = 0,15$ , исходя из таблицы 6,  $P_g = 0,005$ ,  $\beta = 2,5758$  и  $\theta = 1,7934$ . Отсюда следует, что для достижения заданного значения, средняя огнестойкость  $\mu_R$  должна быть равна или больше  $1,79 \mu_S$ .

Для модели эвакуации коэффициент запаса имеет вид:

$$\theta = \mu_{\Delta t,ten} / \mu_{\Delta t,esc}, \quad (78)$$

так что из уравнения (72):

$$\beta = \frac{(\theta - 1)}{(v_{\Delta t,ten}^2 \theta^2 + v_{\Delta t,esc}^2)^{1/2}},$$

где  $v_{\Delta t,ten}$  и  $v_{\Delta t,esc}$  являются коэффициентами изменения  $\Delta t_{ten}$  и  $\Delta t_{esc}$  и имеют вид:

$$v_{\Delta t,ten} = \sigma_{\Delta t,ten} / \mu_{\Delta t,ten}, v_{\Delta t,esc} = \sigma_{\Delta t,esc} / \mu_{\Delta t,esc}.$$

В то же время:

$$\theta = \frac{1 + \beta(v_{\Delta t,ten}^2 + v_{\Delta t,esc}^2 - \beta^2 v_{\Delta t,ten}^2 v_{\Delta t,esc}^2)^{1/2}}{1 - \beta^2 v_{\Delta t,ten}^2}. \quad (79)$$



Уравнение (77) применимо, если  $v_{\Delta t,ten} = v_{\Delta t,esc} = r$ .

Если  $r = 0,15$ , по таблице 6  $\beta = 2,3263$  и  $\theta = 1,6832$ , то искомое максимальное значение вероятности блокирования пути эвакуации составляет 0,01. Для достижения этого значения среднее значение общего времени эвакуации  $\mu_{\Delta t,esc}$  не должно превышать  $0,59 \mu_{\Delta t,esc}$ . Этот результат следует из уравнения (78), по которому  $\mu_{\Delta t,ten}$  должно быть больше  $\theta \mu_{\Delta t,esc}$ , или  $\mu_{\Delta t,esc}$  должно быть меньше  $(\mu_{\Delta t,ten} / \theta)$ . При такой защите, обеспечивающей безопасность жизни, коэффициент смертности из расчета на пожар составит менее 0,00026 ( $= 0,01 \times 0,026$ ), если появляется вероятность одного или нескольких смертельных случаев  $k$ , при условии, что вероятность блокирования пути эвакуации составляет 0,026, как было указано ранее.

Таким образом, коэффициент смертности из расчета на пожар в одно- и многоквартирных домах может быть снижен до 0,00026 от текущего уровня 0,013, если общее время эвакуации  $\mu_{\Delta t,esc}$  будет снижено до 9 мин. ( $= 0,59 \times 15$ ) от текущего уровня – 15 мин. Текущее значение  $\mu_{\Delta t,esc}$  составляет 15 мин. При  $\Delta t_{rec} = 2$  мин. и  $\Delta t_{evac} = 3$  мин., время обнаружения  $\Delta t_{det}$  должно сократиться до 4 мин. от текущего уровня, равного 10 мин.

#### 6.7.5 Логарифмически нормальный коэффициент надежности

Для огнестойкости элементов, если огнестойкость  $R$  и тяжесть пожара  $S$  имеют логарифмически нормальное распределение вероятностей, предлагается разновидность расчета, основанная на следующей переменной состояния:

$$\Phi = \ln(R/S). \quad (80)$$

Приблизительные значения среднего значения  $\mu_\Phi$  и стандартного отклонения  $\sigma_\Phi$  рассчитываются по формулам:

$$\mu_\Phi = \ln(\mu_R / \mu_S),$$

$$\sigma_\Phi = (v_R^2 / v_S^2)^{1/2},$$

где, как было указано ранее,  $\mu_R$  и  $v_R$  являются средним значением и коэффициентом изменения  $R$ , а  $\mu_S$  и  $v_S$  – средним значением и коэффициентом изменения  $S$ .

Коэффициент надежности, относящийся к переменной состояния  $\Phi$  в уравнении (80), составляет:

$$\begin{aligned} \beta_\Phi &= \mu_\Phi / \sigma_\Phi \\ &= \frac{\ln(\mu_R / \mu_S)}{(v_R^2 + v_S^2)^{1/2}}. \end{aligned} \quad (81)$$

Необходимая огнестойкость может быть определена согласно  $\mu_R$  по формуле:

$$\ln \mu_R = \ln \mu_S + \beta_\Phi (v_R^2 + v_S^2)^{1/2}. \quad (82)$$

Коэффициент запаса  $\theta_\Phi$  имеет вид:

$$\theta_\Phi = (\mu_R / \mu_S) = \exp[\beta_\Phi (v_R^2 + v_S^2)^{1/2}]. \quad (83)$$

Средняя огнестойкость  $\mu_R$  должна быть равна или больше  $\theta_\Phi \cdot \mu_S$ .

Значения  $\beta_\Phi$  для различных вероятностей разрушения конструкции являются такими же, как в таблице 6.  $\theta_\Phi = 1$  при  $\beta_\Phi = 0$ , меньше 1 при отрицательном значении  $\beta_\Phi$ , больше 1 при положительном значении  $\beta_\Phi$ . При  $v_R = v_S = r$ ,

$$\theta_\Phi = \exp[\beta_\Phi r \sqrt{2}]. \quad (84)$$

Расчеты, основанные на уравнении (84), показывают, что для любой заданной вероятности разрушения меньше 0,3 значение  $\theta$  по уравнению (76) несколько больше, чем соответствующее значение  $\theta_\Phi$ . Следовательно, в этом диапазоне вероятности разрушения, которая представляет интерес при проектировании пожарной безопасности конструкций, допущение о нормальном распределении для  $R$  и  $S$  дают немного больший предел безопасности, чем допущение о логарифмически нормальных распределениях.

Если  $R$  и  $S$  имеют показательные распределения вероятностей или имеют разные распределения, выведение соответствующего коэффициента надежности является в некотором роде сложной статистической задачей. Коэффициент надежности, предложенный в уравнении (68) или (81), является адекватным для всех практических целей. Подробное рассмотрение других вопросов, таких как «расчетная точка», полный вероятностный подход, метод экстремальных значений и установление допустимой вероятности разрушения, можно найти в литературе.

## 7. ДАННЫЕ

За исключением частных случаев, рассмотренные в настоящей главе данные являются применимыми к проектам на территории Великобритании. Международные различия в законодательстве и управлении могут влиять на данные. Данные заключены в Приложении А. В данной главе представлена необходимая информация об источниках данных для предоставления возможности произвести обоснованную инженерную оценку в местных условиях.

### 7.1 Сопоставление данных для вероятностной оценки риска

#### 7.1.1 Общие положения

Используемые данные должны быть непосредственно применимыми к рассматриваемому примеру. Например, торговые комплексы и аэропорты собирают и сопоставляют данные о затрачиваемом на эвакуацию здания времени после срабатывания пожарной сигнализации. Такие данные не могут быть общедоступными, но они могут использоваться при проведении исследования строительства подобного здания.

Производители часто имеют данные об отказах срабатывания их систем или компонентов, составляющих системы. Обслуживающие компании пожарных сигнализаций и спринклеров могут вести документацию по техническому обслуживанию, которую можно запросить. Но в то же время, такие данные могут быть засекреченными и дефицитными.

Правительственное подразделение пожарной статистики и исследований (в составе отдела заместителя премьер-министра) собирает и сопоставляет большое количество информации касательно пожаров, потушенных пожарными службами. Эти данные фиксируются на месте пожара в отчет и могут быть предоставлены в форме необработанных, исходных данных.

#### 7.1.2 Ключевые данные

Для упрощенной вероятностной оценки риска рассматриваются наиболее необходимые данные. Предоставляются возможные источники данных, типичные значения и комментарии по использованию данных.

#### 7.1.3 Частота пожаров

Пожары в зданиях являются редкими случаями. Серьезные пожары, угрожающие жизни и имуществу, случаются еще реже. В Великобритании пожарной службе не сообщают до 80% пожаров.

Большинство серьезных пожаров случаются в промышленных рабочих помещениях. Исследования показывают, что обычно производственная площадка подвергается пожарам в 10 раз чаще, чем офис, и в 20 раз больше, чем жилой дом. В потенциально проблемную область входят и отели, которые подвергаются данного рода пожарам почти так же часто, как и производственные площадки.

Существует несколько различных методов, применимых для прогнозирования фактической вероятности возникновения пожара. Приведенные данные основаны на простой взаимозависимости фактического числа серьезных пожаров и общего числа свойств назначения здания. Они могут не всегда полностью браться за пример.

Часто допускается, что вероятность возникновения пожара связана с площадью здания (измеряемой общей площадью помещений). Используя этот основополагающий принцип, среднестатистическое офисное здание площадью 1 000 м<sup>2</sup> подвергается такому же числу пожаров (с частотой раз в 17 лет), как и небольшая промышленная площадка, имеющая такую же площадь. Однако небольшое промышленное подразделение площадью 250 м<sup>2</sup> имеет такую же вероятность возникновения пожара (с частотой раз в 34 года), как и небольшое офисное здание площадью 500 м<sup>2</sup>. Розничная торговая точка с такой площадью предполагает возникновение серьезного пожара с частотой один раз в 3 года (приблизительно как и крупная производственная площадка площадью 21 000 м<sup>2</sup> или крупные развлекательные площадки (например, кинотеатр) площадью 5 000 м<sup>2</sup>).

#### 7.1.4 Площадь затрагиваемая пожаром

Данные из отчетов о происшествии пожарных бригад Великобритании показывают, что только 10% фиксируемых пожаров распространяются за пределы помещения, где произошло возгорание. Обычно только 2% распространяются на другие здания. При условии, что зафиксированные пожары составляют только 20% от всех пожаров, наглядно видно, что большинство пожаров не являются главной опасностью и либо выгорают без значительного ущерба, либо быстро тушатся пользователями здания.

Статистика страхования показывает, что менее чем 1 из 1 000 пожаров, возникнувших в отеле, магазине, ресторане и других развлекательных площадках, приведет к финансовым потерям в более чем 1 000 000 фунтов стерлингов (цены 1992 г.). Пожары на производственных площадках и учебных учреждениях более чем в 4 раза чаще приводят к пожарам такого масштаба.

В магазинах и офисах без установленной спринклерной системы приблизительно 60% зарегистрированных пожарными службами пожаров, не будут развиваться за пределами 1.0 м<sup>2</sup>, где 40% составляют зарегистрированные пожары, которые ограничиваются первичным очагом возгорания. Большинство пожаров в магазинах и офисах (приблизительно 80% зарегистрированных пожаров в учреждениях данного типа) не выйдут за пределы площади не превышающей 20 м<sup>2</sup>.

#### 7.1.5 Какое влияние оказывают автоматические системы обнаружения пожара и сигнализации?

Одним из самых широко используемых действующих систем противопожарной защиты является автоматическая система обнаружения пожара и сигнализации (AFDA). Обычно данная система может быть использована для обеспечения соответствующей пожарной безопасности с меньшими мерами пожарной безопасности в любой части здания, и обычно требуется, чтобы эта система являлась неотъемлемой частью систем дымоуда-

ления.

Статистические данные показывают, что датчики дыма могут улучшить возможность обнаружения пожара в течение 5 минут на 50%-60%. Эти данные являются важными, так как, если пожар не обнаружен непосредственно сразу или в течение 5 минут, первичные средства пожаротушения будут неэффективны.

Важно отметить, что правильно расположенный датчик дыма должен обнаружить пожар точно за 5 минут с момента возгорания.

В жилых домах датчики дыма не улучшают возможность обнаружения пожара непосредственно сразу. Однако в других зданиях датчики дыма улучшают эту возможность незамедлительного обнаружения приблизительно на 50%. Данный показатель имеет особое значение при расчете эвакуации пользователей крупных общественных зданий, таких как аэропорты, где анализ задымления, который определяет время, имеющееся для эвакуации, может также использоваться для снижения затрат в проектировании.

#### 7.1.6 Надежность автоматических систем обнаружения пожара и сигнализации

Если система AFDA использовалась как компромиссное решение в проекте здания, можно предположить, что система работает по запросу, хотя это не всегда имеет значение.

Рассматривая требования обеспечения безопасности жизни людей, обычно не рассматривается допущение 100% надежности системы. Допущения, присущие используемым моделям для вычисления развития пожара, распространения задымленности и реакции людей, обычно не являются завышенными. Также применяются методы проектирования «с двойными мерами безопасности», страхуя пожарную безопасность жизни людей, используя различные конструктивные особенности). Однако надежность системы может быть релевантной при сравнении разных схем плана пожарной эвакуации.

При решении задач обеспечения защиты имущества может потребоваться, чтобы система AFDA могла сделать вызов пожарной службы или осуществить срабатывание системы ликвидации пожара (AFS). В этом случае надежность системы является релевантной и должна быть принята во внимание.

Обычно приблизительно в 90% случаев обнаружение пожара происходит посредством датчиков дыма и датчиков повышения температуры. Данное число снижается до 75% и ниже в случае с домашними установками датчиков дыма, которые чаще всего устанавливаются неверно и имеют недостаточное техническое обслуживание.

Датчики воспламенения считаются менее надежными среди других в силу того, что существует вероятность затемнения их элементов на протяжении срока службы здания.

Исследования показывают, что до 22% ошибок систем обнаружения могут быть отнесены к ошибкам проектирования, где 53% ошибок объясняются выходом из строя механизма. Остальные 25% считаются результатом неожиданных изменений условий проектирования или условий назначения здания с установленной системой (напр. «неожиданный» отказ срабатывания).

Обычно надежность системы сигнализации считается высокой при расчете, что отказы относятся к несрабатыванию на стадии обнаружения. Это подтверждается данными, которые показывают, что когда система имеет связь с пожарной службой, срабатывание происходит в 95% случаях обнаружения пожара.

#### 7.1.7 Реагирование людей на сигнализацию

Надежность работы системы AFDA должна рассматриваться с учетом способности системы сигнализации инициировать эвакуацию.

Системы, использующие звуковой оповещатель с информационным сообщением (напр. на основе громкоговорящей системы оповещения) может быть на 70% эффективнее, чем простой оповещатель. Это показывает, что, услышав оповещатель с информационным сообщением, на 70% больше людей начнут эвакуацию, чем при оповещателе, подающем сигнал.

Улучшение эффективности при выборе между простым оповещателем и звуковым оповещателем с сообщением, в значительной степени зависит от характеристик пользователей здания. Когда здание знакомо людям, или они находятся в группе, улучшение эффективности от использования звукового оповещателя с информационным сообщением будет меньше.

#### 7.1.8 Прибыль от автоматических систем ликвидации пожара

Многие страховые компании требуют обеспечить здания автоматическими системами ликвидации пожаров (обычно спринклерами). В Великобритании не существует требований закона по установке спринклерных систем, хотя это не обязательно так в других странах, в частности, в США.

Общепризнанным показателем эффективности автоматических систем ликвидации пожара является общее снижение потенциальных убытков на 50%. Большая часть имеющихся данных об автоматических системах ликвидации пожара взята исходя из работы системы спринклеров (поскольку она является самой распространенной). В специальных применениях, таких как внутренняя защита шкафа компьютерной системы, должно быть достижимо значительно большее снижение ущерба.

#### 7.1.9 Надежность спринклерных систем

Надежность спринклеров оценивается высоко, более 99 %. Значения надежности такого масштаба использовались для продвижения спринклеров. Однако были получены также низкие данные надежности – 70%, и получается невозможным считать, что надежность > 99 % может быть достигнута. Поскольку спринклерные системы мало отличаются по своей конструкции в других странах, то изменение надежности выше описанной масштабности не должны встречаться.

Основная причина изменения установленных значений надежности является различие критериев, используемых для оценки успешной работы спринклеров. Некоторые исследования допускают активацию до 200 головок (площадь охваченная пожаром – до 2 000 м<sup>2</sup>) до того, как работа спринклеров признается неуспешной. Некоторые исследования при оценке надежности спринклерной системы не берут в расчет ситуации, ко-

гда система отсоединена от сети питания, например, из-за ошибок в процессе технического обслуживания. Последнее из двух имеет особенное значение, так как отказ срабатывания спринклерной системы по причине аварийного (или преднамеренного) отсоединения от сети является наиболее частой причиной отказа.

Принимая вышеприведенные изменения данных, могут быть сделаны следующие выводы по значениям вероятности успешной работы по требованию спринклерной системы:

- Максимальное значение – 95% (это касается новых систем там, где принято законодательство, требующее их установку).
- Обычное значение – 90% (новые системы обеспечения безопасности жизни) или 80% (новые системы обеспечения защиты имущества).
- Минимальное значение – 75% (старые системы).

Вышеприведенные значения предполагают, что работают не более чем 4 спринклерные головки. Данное число было установлено предельным случаем для «успешной» работы спринклеров, поскольку не более чем четыре работающие головки – это типичный размер пожара, используемый в пожарно-техническом анализе.

Признанно, что использование четырех головок, как критерия возникновения несрабатывания, может предоставлять неполную картину. В частности если достаточно большое количество зданий, включенных в выборку данных (например, по небольшим объектам розничной торговли), имели бы всего четыре или меньше спринклерных головок, в данном случае было бы не ясно, контролировали ли спринклеры пожар.

Однако поскольку большинство данных о спринклерных системах относятся к крупным торговым помещениям, офисам и промышленным площадкам, где количество головок существенно превышает четыре, то указанные здесь значения должны подходить в большинстве случаев применения.

#### 7.1.10 Разница между спринклерными системами по обеспечению защиты жизни и по обеспечению защиты имущества

Раньше производители спринклерных систем прогнозировали надежность системы, основываясь, до определенной степени, на данных статистики. Однако сейчас считается необходимым предусматривать дополнительные меры (например, мониторинг всех клапанов системы) и также вводить другие ограничения в проектирование системы, чтобы повысить надежность спринклерной системы, установленной для обеспечения защиты жизни.

В то время как уже доказано, что дополнительные меры для спринклерной системы защиты жизни могут повысить надежность системы, замена спринклерной системы обеспечения защиты имущества на спринклерную систему обеспечения защиты жизни может не привести к снижению общих убытков. Более того, имеющиеся данные показывают, что общепринятый показатель снижения убытков в здании с установленной спринклерной системой составляет 50%, что является приблизительно одинаковым как и для спринклерной системы обеспечения защиты имущества, так и для спринклерной системы обеспечения защиты жизни. Однако следует заметить, что исключение дополнительных требований к спринклерной системе для защиты жизни из данной системы может, если применяется в проектировании, являться вопросом спорным и требует дальнейшего подробного обоснования.

#### 7.1.11 Надежность других автоматических систем пожаротушения

Применение систем газового пожаротушения, порошкового пожаротушения и пожаротушения тонкораспыленной водой, требует более высокого уровня надежности.

Другие системы автоматической ликвидации пожара (кроме спринклерной) наиболее часто применяются в военной, телекоммуникационной и ядерной отрасли. В этих секторах обычно требуется очень высокий уровень надежности системы, и, как правило, может быть достигим уровень надежности, превышающий 90%.

#### 7.1.12 Надежность систем дымоудаления.

Несмотря на то, что системы дымоудаления использовались в зданиях в течение многих лет, существует мало данных об их надежности. Данные, имеющиеся у специалистов по пожарно-технической безопасности, показывают, что системы должны работать по требованию с надежностью от 85% до 90%.

Эти значения могут не полностью учитывать влияние изменений конструкции здания с течением срока службы. Как отмечается, это может привести к отказам срабатывания других активных систем, например, систем сигнализации.

Системы дымоудаления особенно чувствительны к относительно незначительным, на вид безопасным, изменениям конструкции здания. Например, модификация фасада небольшого магазина в крупном торговом комплексе может, в некоторых случаях, удвоить требования для системы дымоудаления.

Продуманное проектное решение подразумевает, что система должна быть адекватно надежна для функционирования должным образом весь срок службы здания. Однако, если должны или могут производиться неконтролируемые перепланировки здания, допущение этого должно быть включено в надежность, предполагаемую для данной системы.

#### 7.1.13 Надежность пассивных систем противопожарной защиты

Принято считать, что надежность пассивных огнестойких конструкций оценивать сложно. Особенно это подчеркивается принципом, по которому, даже если, к примеру, возгорание стены с пределом огнестойкости в 60 минут происходит раньше данного времени, несмотря на то, что технически произошел отказ срабатывания, она может выдерживать пожар в течение долгого периода времени. Отсюда следует, что отказ может считаться частичным. Данная проблема касается не только пассивной противопожарной защиты, но также и активных систем безопасности, поскольку существует вероятность частичного отказа, например, дымовытяжных или спринклерных систем. Считается, что произошел отказ дымовытяжной системы при условии, если система не срабатывает соответственно проекту, однако даже 50% функционирование будет в некоторой степени эффективным и может быть достаточным для удовлетворения задач системы (например, задачи поддержать не

задымленными пути эвакуации).

В пассивных системах полный отказ менее вероятен. Это аналогично отказу срабатывания дымовытяжной системы. Поскольку много пассивных систем пожарной безопасности имеют в себе активные элементы, не исключается полный отказ. Например, в ежедневной работе рольставни в стене пожарного отсека в здании завода часто будут держаться в открытом состоянии. Если произойдет отказ их срабатывания, возможно, стена не будет обладать огнестойкостью, хотя части стены все-таки будут в некоторой степени эффективными.

Работу пассивных конструкций можно считать нормальным распределением. Таким образом, можно рассмотреть предел в работе конструкций в случае изменений в сооружении и техническом обслуживании. Например, может быть заявлено, что 75% кирпичных стен дают на 75% больше огнестойкости, чем это выявлено в лабораторных испытаниях. Этот подход позволяет провести сравнительные исследования, и они уже показали, что 25% подвесных потолков, 40% остекленных элементов и 65% разделительных перегородок могут иметь показатели огнестойкости на 75% больше, чем было рассчитано.

Часто рассматривается, что пассивная противопожарная защита является предпочтительной активным противопожарным системам на том основании, что пассивные системы не подвергаются таким же расчетным и эксплуатационным проблемам, как механические системы. Однако много пассивных систем опирается именно на регулярный контроль и эксплуатационное обслуживание при необходимости срабатывания при пожаре. К примеру, одна из часто встречаемых причин отказа срабатывания стен пожарного отсека - добавленные после строительства технические отверстия (например, для прокладки кабеля)

Таким же образом, пожарные двери, которые держатся закрытыми или имеют сломанный доводчик, являются мало или совсем неэффективными. Имеющиеся данные показывают, что до 23% пожарных дверей держатся открытыми. Более того, приблизительно 20% откидных пожарных дверей, которые не зафиксированы в открытом состоянии, могут закрыться неправильно (основано на данных инспекции на месте). Это предполагает, что 40% установок пожарных дверей могут не срабатывать, как предполагалось.

#### 7.1.14 Другие данные и перспективы работы над систематизацией данных

В последние годы предпринималась попытка сопоставления данных исходя из работы пассивных систем противопожарной защиты (например, деление помещения на пожарные отсеки). Предварительные данные показывают, что чем выше номинальная характеристика огнестойкости конструкции, тем выше вероятность, что она будет срабатывать в соответствии с проектом. Более того, традиционные фахверковые конструкции и кладка в большей степени соответствуют расчетному уровню огнестойкости, чем конструкции остекленных или подвесных потолков.

Управление зданием играет главную роль в поддержании сохранности систем пассивной противопожарной защиты. В частности, должны быть проведены процедуры, выявляющие, все ли отверстия для инженерных сетей в стенах сделаны правильно, и что все сети, проходящие через стены и пол, находятся под должной огнезащитой.

Поскольку по всему миру управления пожарной безопасности фиксируют и сопоставляют данные пожарной статистики, имеется достаточно данных по общей вероятности смертельных жертв или травм при пожаре. Однако число смертельных случаев при пожаре является относительно низким, и поэтому сопряженные с отдельным случаем обстоятельства могут легко привести к статистическим аномалиям. Несмотря на это, данные о смертельных случаях при пожаре могут быть использованы в вероятностной оценке риска для подтверждения полученных результатов.

Особую важность представляет относительный риск возникновения смертельного случая. Подавляющее большинство смертельных случаев имеет место быть в собственных домах жертв. Кроме того, более 65% жертв при пожаре в жилых домах, а также более 50% жертв в других зданиях приходятся на возраст людей старше 60 лет. (Данные учитывают демографическую статистику численности населения).

Причины высокой смертности среди пожилых людей являются сложными. Пожилые люди значительно более чувствительны к воздействию токсичных газов, поэтому могут быстрее, по сравнению с молодыми людьми, поддаться воздействию дыма от пожара. Эта проблема усиливается тем обстоятельством, что престарелые люди не могут также быстро, как молодые люди, передвигаться, и как следствие – не смогут эвакуироваться. Помимо разницы в физическом состоянии между пожилыми и молодыми людьми, существуют также важные социальные различия. Многие престарелые люди живут одни и в условиях, где пожар наиболее вероятен (например, более высокий уровень курящих, старая, недостаточно хорошо работающая электрическая или газовая техника).

Очень ограниченные данные существуют о реакции людей при пожаре. Принято считать, что люди, сталкиваясь с непредвиденной чрезвычайной ситуацией, поддаются панике. Более современные исследования показывают, что большинство людей могут правильно и организованно эвакуироваться.

Однако недавно были изучены интересные тенденции поведения людей, такие как желание остаться в здании, например, при обслуживании в магазине. Это позволяет инженерам по пожарной безопасности лучше понимать и планировать эвакуацию (например, закрытие бара до начала эвакуации может улучшить эффективность эвакуации).

В то время как некоторые тенденции поведения людей при столкновении с пожаром только начинают исследовать, очевидно, что необходимо проделать большую работу перед тем, как будут получены удовлетворительные данные в этой области.

## 7.2 Ключевые вопросы в применении данных вероятностной оценки риска

### 7.2.1 Общие положения

Сложно дать исчерпывающее руководство по тому, какие подводные камни могут ожидать при использовании данных пожарной безопасности для вероятностной оценки риска. Ниже приведена простая блок-схема, которая может быть использована для оценки пригодности данных (см. рис. 20).

Предполагаемые ключевые вопросы, которые необходимо рассмотреть инженеру при выполнении или анализе исследования даны в пунктах 7.2.2, 7.2.3, 7.2.4.

### 7.2.2 Применимость данных

Необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- Какова совокупность примеров, из которых взяты данные?
- Какой пример измеряют данные?
- Насколько моя система сходна с рассматриваемыми примерами?
- Если данные принадлежат другой стране, изменят ли изменения в установленных законом мерах контроля или разница в проектировании эти данные?

### 7.2.3 Качество данных

Необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- Каков срок давности данных (как правило, 10 лет считается конечным сроком для высокого качества данных)?
- Существуют ли доступные подтверждающие данные?
- Данные взяты из статистических исследований или основаны на инженерной оценке?

### 7.2.4 Проверка результатов исследования

Необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- Выглядят ли ответы реалистичными?
- Насколько чувствительны результаты к сомнительным данным?

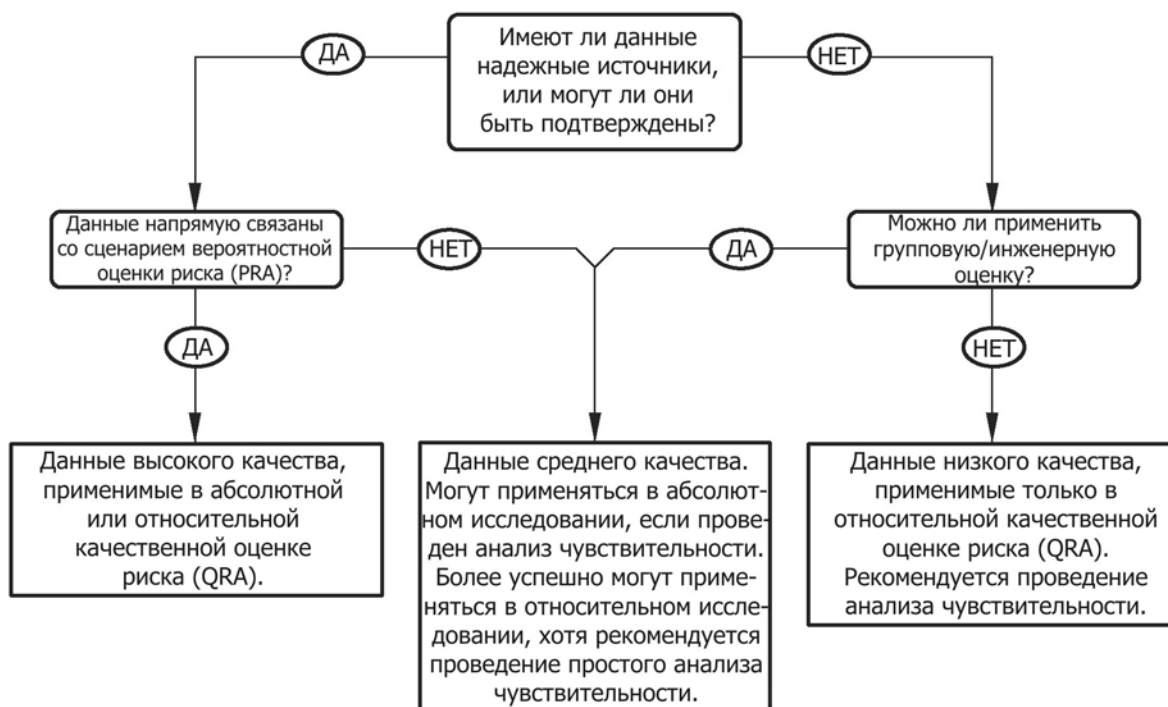


Рис. 20. Блок-схема для проверки пригодности данных

## **8. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

### **8.1 Общие положения**

Вероятностная оценка риска является развивающейся областью исследований, как и ее использование в пожарно-техническом анализе зданий. Данный подраздел представляет собой краткое обсуждение некоторых общих и специфических разработок в области исходных для оценки данных и методиках проведения анализа.

### **8.2 Данные**

Относительно сбора данных, существует две общих группы разработок.

Данные, которые уже собираются для других целей, таких, как оценка эффективности работы пожарной команды, анализируются таким способом, который обеспечивает получение данных для вероятностной оценки риска. Подобное в известной степени уже происходило ранее, но есть вероятность увеличения данной тенденции в будущем.

Новые данные собираются специально для вероятностной оценки риска пожарной безопасности в зданиях. Разработки подобного рода включают в себя работу Отдела исследований пожаров (отдел заместителя премьер-министра), предметом которой было быстрое реагирование пожарной команды в условиях риска; и база данных по реально произошедшим пожарам Городского управления по предотвращению и ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций (г. Лондон).

### **8.3 Анализ**

Второе направление разработок включает в себя методы анализа, которые, в свою очередь, могут также делиться на две группы.

- а) Простые методы анализа, представленные в данном документе, будут применяться во все более широкой и комплексной манере, и приведут к разработке более автоматизированных способов применения анализа к целому зданию.
- б) С появлением более точных и всесторонних данных использование сложных методов анализа станет более частым, а такие комплексные методы анализа, как анализ Монте-Карло, станут более широкодоступными.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТАБЛИЦЫ

**Таблица А.1. Вероятность возгорания**

Тип здания	Вероятность пожара в год	
	a	b
<b>Производственные здания по группам</b>		
Еда, напитки, табак	0.001 1	0.60
Химическая продукция и подобное	0.006 9	0.46
Машиностроение и другие товары из металла	0.000 86	0.56
Электротехника	0.006 1	0.59
Транспорт	0.000 12	0.86
Текстиль	0.007 5	0.35
Лесоматериалы, мебель	0.000 37	0.77
Бумага и печатная продукция	0.000 069	0.91
Другие производства	0.008 4	0.41
Все производственные отрасли	0.001 7	0.53
<b>Другие типы зданий</b>		
Склады	0.000 67	0.5
Магазины	0.000 066	1.0
Офисы	0.000 059	0.9
Отели и т.д.	0.000 08	1.0
Больницы	0.000 7	0.75
Школы	0.000 2	0.75

**Таблица А.2. Общая вероятность возгорания в различных типах зданий**

Тип здания	Вероятность возгораний на здание $y^{-1}$
Производственные	$4.4 \times 10^{-2}$
Складские	$1.3 \times 10^{-2}$
Офисные	$6.2 \times 10^{-3}$
Культурно-развлекательные общественные здания	$1.2 \times 10^{-1}$
Нежилые общественные здания	$2.0 \times 10^{-2}$
Больницы	$3.0 \times 10^{-1}$
Школы	$4.0 \times 10^{-2}$
Жилой сектор	$3.0 \times 10^{-3}$

**Таблица А.3. Вероятность возгорания на определенной площади для различных типов зданий**

Тип здания	Вероятность возгорания $y^{-1} m^{-2}$
Офисные	$1.2 \times 10^{-5}$
Складские	$3.3 \times 10^{-5}$
Общественные здания	$9.7 \times 10^{-5}$



**Таблица А.4. Площадь повреждения и процент пожаров для каждой категории распространения пожара (текстильная промышленность)**

Категория распространения пожара	Наличие спринклеров		Отсутствие спринклеров	
	Площадь повреждения м <sup>2</sup>	Процент пожаров	Площадь повреждения м <sup>2</sup>	Процент пожаров
<i>Производственная площадь</i>				
Ограничение первичным очагом возгорания	5	72	5	43
Распространение огня за пределы очага возгорания, но с распространением пожара не далее помещения, где оно произошло				
i) не далее объектов помещения	13	18	17	32
ii) с участием конструкции	113	6	475	13
Распространение за пределы помещения, где произошло возгорание	694	4	694	12
Среднее	40	100	152	100
<i>Складская площадь</i>				
Ограничение первичным очагом возгорания	4	72	10	19
Распространение огня за пределы очага возгорания, но с распространением пожара не далее помещения, где оно произошло				
i) не далее объектов помещения	19	24	17	18
ii) с участием конструкции	19	24	262	38
Распространение за пределы помещения, где произошло возгорание	1712	4	1712	25
Среднее	76	100	539	100
<i>Другие площади</i>				
Ограничение первичным очагом возгорания	2	66	2	42
Распространение огня за пределы очага возгорания, но с распространением пожара не далее помещения, где оно произошло				
i) не далее объектов помещения	11	22	4	25
ii) с участием конструкции	68	8	68	18
Распространение за пределы помещения, где произошло возгорание	1007	4	1007	15
Среднее <sup>a</sup>	49	100	165	100

<sup>a</sup> Источник: Статистика пожаров в Великобритании, 1984 – 1986 гг.

**Таблица А.5. Площадь повреждения и процент пожаров для каждой категории распространения огня (бары, клубы, рестораны – все площади)**

Категория распространения пожара	Наличие спринклеров		Отсутствие спринклеров	
	Площадь повреждения м <sup>2</sup>	Процент пожаров	Площадь повреждения м <sup>2</sup>	Процент пожаров
Ограничение первичным очагом возгорания	1	59	1	26
Распространение огня за пределы очага возгорания, но с распространением пожара не далее помещения, где оно произошло				
i) не далее объектов помещения	1	15	2	12
ii) с участием конструкции	4	19	15	45
Распространение за пределы помещения, где произошло возгорание	50	7	101	17
Среднее <sup>a</sup>	5	100	24	100

<sup>a</sup> Источник: Статистика пожаров в Великобритании, 1984 – 1986 гг.

**Таблица А.6. Офисные здания: распределение частоты площади повреждения  
(в пересчете на количество пожаров)**

Площадь повреж- дения м <sup>2</sup>	Офисные помещения		Другие помещения	
	Без спринклеров	Со спринклерами <sup>а</sup>	Без спринклеров	Со спринклерами <sup>а</sup>
1 и менее	908 (51.2)	13 (27.8)	2588 (40.8)	95 (25.2)
2 – 4	379 (30.8)	3 (11.1)	902 (20.1)	17 (11.8)
5 – 9	144 (23.1)	—	303 (13.2)	9 (4.7)
10 – 19	116 (16.8)	2	199 (8.6)	2 (3.2)
20 – 49	154 (8.6)	—	180 (4.5)	3 (0.79)
50 – 99	69 (4.8)	—	75 (2.8)	1
100 – 199	35 (3.0)	—	53 (1.6)	—
200 – 499	33 (1.2)	—	40 (0.7)	—
500 – 999	13 (0.5)	—	18 (0.3)	—
1000 и более	9	—	11	—
Общее количество пожаров	1860	18	4369	127
λ	0.668 6	0.698 7	0.714 6	0.871 1
М (м <sup>2</sup> )	0.774 9	0.159 9	0.464 7	0.264 6
Примечание: Цифры в скобках – это проценты пожаров, превышающих верхние границы повреждения в первой колонке				
<sup>а</sup> Цифры относятся к пожарам, при которых функционировали спринклеры				
Источник: Министерство внутренних дел Великобритании, статистика пожаров за 1979 год и 1984-1987 гг.				

**Таблица А.7. Зоны розничной торговли: распределение частоты площади повреждения  
(в пересчете на количество пожаров)**

Площадь повреждения м <sup>2</sup>	Сборочные зоны		Складские площади		Другие площади	
	Без спринклеров	Со спринклерами <sup>а</sup>	Без спринклеров	Со спринклерами <sup>а</sup>	Без спринклеров	Со спринклерами <sup>а</sup>
1 и менее	4 197 (48.9)	154 (31.3)	1679 (67.4)	261 (26.3)	4066 (43.5)	135 (26.2)
2 – 4	1 987 (24.7)	37 (14.7)	1306 (42.0)	51 (11.9)	1638 (20.7)	22 (14.2)
5 – 9	619 (17.1)	9 (10.7)	722 (27.9)	22 (5.7)	490 (13.9)	8 (9.8)
10 – 19	463 (11.5)	13 (4.9)	543 (17.4)	11 (2.5)	404 (8.3)	9 (4.9)
20 – 49	430 (6.2)	6 (2.2)	476 (8.1)	6 (0.9)	323 (3.8)	5 (2.2)
50 – 99	221 (3.5)	4 (0.5)	177 (4.7)	1 (0.6)	128 (2.0)	2 (1.1)
100 – 199	127 (2.0)	—	116 (2.4)	—	68 (1.1)	2
200 – 499	100 (0.8)	—	74 (1.0)	2	57 (0.3)	—
500 – 999	29 (0.4)	—	24 (0.5)	—	15 (0.1)	—
1000 и более	34	—	27	—	5	—
Общее количество пожаров	8 207	224	5144	354	7 194	183
λ	0.694 7	0.864 4	0.730 4	0.885 8	0.893 6	0.699 1
М (м <sup>2</sup> )	0.596 8	0.415 6	1.158 3	0.285 2	0.794 2	0.214 2
Примечание: Цифры в скобках – это проценты пожаров, превышающих верхние границы повреждения в первой колонке						
<sup>а</sup> Цифры относятся к пожарам, при которых функционировали спринклеры						
Источник: Министерство внутренних дел Великобритании, статистика пожаров за 1979 год и 1984-1987 гг.						

**Таблица А.8. Отели: распределение частоты площади повреждения  
(в пересчете на количество пожаров)**

Площадь повреж- дения м <sup>2</sup>	Общественные зо- ны без спринклеров	Спальные комнаты без спринклеров	Складские и другие площади	
			Без спринклеров	Со спринклерами <sup>а</sup>
1 и менее	321 (38.0)	643 (46.6)	2 789 (27.0)	31 (11.4)
2 – 4	76 (23.4)	324 (19.8)	459 (15.0)	2 (5.7)
5 – 9	31 (17.4)	94 (12.0)	162 (10.8)	1 (2.9)
10 – 19	17 (14.0)	59 (7.1)	136 (7.2)	1
20 – 49	30 (8.3)	54 (2.6)	124 (4.0)	—
50 – 99	10 (6.4)	18 (1.1)	67 (2.2)	—
100 – 199	13 (3.9)	4 (0.8)	31 (1.4)	—
200 – 499	13 (1.4)	2 (0.6)	31 (0.6)	—
500 – 999	6 (0.2)	7	8 (0.4)	—
1000 и более	1	—	14	—
Общее количество пожаров	518	1 205	3 821	35
λ	0.660 3	0.773 4	0.639 2	0.631 0
М (м <sup>2</sup> )	0.590 7	0.454 3	0.217 6	0.032 2

Примечание: Цифры в скобках – это проценты пожаров, превышающих верхние границы повреждения в пер-  
вой колонке

<sup>а</sup> Цифры относятся к пожарам, при которых функционировали спринклеры

Источник: Министерство внутренних дел Великобритании, статистика пожаров за 1979 год и 1984-1987 гг.

**Таблица А.9. Вероятный ущерб при пожаре: параметры уравнения 2**

Тип здания	Параметры	
	c	d
<b>Производственные здания по группам</b>		
Еда, напитки, табак	2.7	0.45
Химическая продукция и подобное	11.8	0.12
Машиностроение и другие товары из металла	1.5	0.43
Электротехника	18.5	0.17
Транспорт	0.80	0.58
Текстиль	2.6	0.39
Лесоматериалы, мебель	24.2	0.21
Бумага и печатная продукция	6.7	0.36
Другие производства	8.7	0.38
Все производственные отрасли	2.25	0.45
<b>Другие типы помещений</b>		
Склады	3.5	0.52
Магазины	0.95	0.50
Офисы	15.0	0.00
Отели и т.д.	5.4	0.22
Больницы	5.0	0.00
Школы	2.8	0.37

**Таблица А.10. Прядильная дублирующая промышленность:  
места возникновения пожаров и источники возгорания**

Источники возгорания	Производство и эксплуатация		Сборка	Складские площади			Различные площади	Всего
	Пылеуловитель (не центрифуга)	Другие площади		Помещение для хранения	Погрузочные и упаковочные площади	Другие площади		
А.Промышленные устройства i) Электрический пылеуловитель	14	3	—	—	—	—	—	17
Другие горючие материалы	12	—	—	—	—	—	—	12
ii) Другие электрические устройства	6	111	—	—	—	—	—	
Другие горючие материалы	—	22	—	1	—	—	2	25
В.Сварочное и режущее оборудование	—	10	—	6	—	—	7	
С.Двигатель (не являющийся частью других устройств)	—	7	—	—	—	—	—	
Д.Провод и кабель	1	12	—	—	—	—	2	15
Е.Механический нагрев или электрическая искра	27	194	—	—	—	—	—	221
Другое	52	387	—	2	—	—	—	441
Ф.Злоумышленное или намеренное возгорание	—	9	—	3	—	—	3	
Неопределенные	—	13	—	7	—	—	—	20
Г.Брошенные сигареты	2	29	1	15	1	—	7	55
Н.Дети с огнем (спичками)	3	4	—	12	2	4	5	
Д.Другое	4	29	2	3	2	—	12	52
Неизвестные	11	78	—	14	—	—	9	112
ВСЕГО	132	908	3	63	5	4	47	1162

**Таблица А.11. Степень распространения пожара и средняя площадь повреждения  
(текстильная промышленность, Великобритания)**

Степень распространения	Со спринклерами <sup>a</sup>			Без спринклеров		
	Средняя площадь повреждения м <sup>2</sup>	Процент пожаров	Время, мин	Средняя площадь повреждения м <sup>2</sup>	Процент пожаров	Время, мин
Ограничение первичным очагом возгорания	4.43	72	0	4.43	49	0
Распространение огня за пределы очага возгорания, но с распространением пожара не далее помещения, где оно произошло						
i) не далее объектов помещения	11.82	19	8.4	15.04	23	6.2
ii) с участием конструкции	75.07	7	24.2	197.41	21	19.4
Распространение за пределы помещения, где произошло возгорание	1000.00	2		2000.00	7	
Среднее <sup>a</sup>	30.69	100		187.08	100	

<sup>a</sup> Система функционировала.

**Таблица А.12. Средние потери за 1 пожар по ценам 1966 г. (£'000)**

Тип здания	Одноэтажное, оборудованное спринклерами	Многоэтажное, оборудованное спринклерами	Одноэтажное, не оборудованное спринклерами	Многоэтажное, не оборудованное спринклерами
Текстиль	2.9	3.5	6.6	25.2
Лесоматериалы, мебель	1.2	3.2	2.4	6.5
Бумага и печатная продукция	5.2	5.0	7.1	16.2
Химическая продукция и подобное	3.6	4.3	4.3	8.2
Оптовая дистрибьюторская торговля	—	4.7	3.8	9.4
Розничная дистрибьюторская торговля	—	1.4	0.4	2.4

**Таблица А.13. Время обнаружения и потери погибшими**

Время обнаружения ( $\Delta t_{det}$ ) и тип помещения	Число смертей	Число пожаров	Коэффициент смертно- сти за 1 пожар, $P_d$
<b>Одноквартирные дома</b>			
Обнаружение при возгора- нии	445	76 243	0.005 837
Обнаружение в течение 5 минут после возгорания	686	212 519	0.003 228
Обнаружение в течение 5 – 30 минут после возгорания	2 156	141 462	0.015 241
Обнаружение в течение бо- лее чем 30 минут после воз- горания	2 766	53 677	0.051 530
Всего	6 053	483 901	0.012 509
<b>Многоквартирные дома</b>			
Обнаружение при возгора- нии	204	27 805	0.007 337
Обнаружение в течение 5 минут после возгорания	334	123 648	0.002 701
Обнаружение в течение 5 – 30 минут после возгорания	1 281	110 078	0.011 637
Обнаружение в течение бо- лее чем 30 минут после воз- горания	1 703	28 125	0.060 551
Всего	3 522	289 656	0.012 159
Одноквартирные дома	$\delta = 0.000\ 801$ $K = 0.001\ 626$		
Многоквартирные дома	$\delta = 0.000\ 596$ $K = 0.001\ 509$		
Источник: Статистика пожаров в Великобритании. 1978 – 1991 гг.			

**Таблица А.14. Распределение частоты числа смертей**

Число смертей	Одноквартирные дома		Многоквартирные дома	
	Число пожаров	Процент пожаров	Число пожаров	Процент пожаров
0	491 532	98.915 1	292 747	98.901 4
1	4 794	0.964 8	3 002	1.014 2
2	421	0.084 7	194	0.065 5
3	110	0.022 1	40	0.013 5
4	45	0.009 1	10	0.003 4
5 и более	21	0.004 2	6	0.002 0
Всего	496 923	100.000 0	295 999	100.000 0

**Таблица А.15. Вероятность вспышки**

Тип здания, где произошло возгорание	Здание, оборудованное спринклерами			Здание, не оборудованное спринклерами			Коэффициент $\omega$
	P <sub>F1</sub>	P <sub>F2</sub>	Вероятность вспышки	P <sub>F1</sub>	P <sub>F2</sub>	Вероятность вспышки	
Текстильная промышленность							
Производство	0.28	0.36	0.10	0.57	0.44	0.25	2.50
Хранение	—	—	0.28	0.81	0.78	0.63	2.25
Другие площади	0.34	0.35	0.12	0.58	0.57	0.33	2.75
Химическая промышленность и т.д.							
Производство	0.20	0.20	0.04	0.61	0.41	0.25	6.25
Хранение	0.37	0.41	0.15	0.81	0.67	0.54	3.60
Другие площади	0.29	0.31	0.09	0.61	0.61	0.37	4.11
Бумажная промышленность и т.д.							
Производство	0.23	0.26	0.06	0.49	0.39	0.19	3.17
Хранение	0.29	0.34	0.10	0.78	0.72	0.56	5.60
Другие площади	0.28	0.36	0.10	0.73	0.71	0.52	5.20
Лесная промышленность и т.д.							
Производство	0.36	0.39	0.14	0.80	0.69	0.55	3.93
Хранение	0.38	0.42	0.16	0.83	0.83	0.70	4.38
Другие площади	0.30	0.40	0.12	0.76	0.76	0.58	4.83
Розничная торговля							
Сборочные зоны	0.28	0.32	0.09	0.67	0.60	0.40	4.44
Хранение	0.24	0.25	0.03	0.82	0.76	0.62	10.33
Другие площади	0.27	0.41	0.11	0.71	0.68	0.48	4.36
Оптовая торговля							
Все площади	0.26	0.42	0.11	0.85	0.75	0.64	5.82
Офисные помещения							
Помещения, используемые как офисы	0.21	0.43	0.09	0.78	0.71	0.55	—
Другие площади				0.65	0.65	0.42	4.67

**Таблица А.16. Характеристики зданий**

Тип здания	Число пожаров (1993)	Число смертей (1993)	Легкие ранения (1993)	Число работников (1995)	Число людей в здании	Пожары, не потушенные пожарными расчетами (%) (1993)	Пожары, потушенные пожарными расчетами (%) (1993)
Одноквартирный дом	32 843	33	5 954	N/A	5 643 000	36.19	63.81
Многоквартирный дом	27 229	189	5 199	N/A	Unknown	35.96	64.04
Отели и т.д. <sup>a</sup>	895	5	93	211 000	178 174	35.41	64.59
Банки, страхование и т.д.	1 038	0	44	2 763 000	—	23.21	76.79
Государственные, оборонные учреждения	1 404	2	192	1 344 000	—	57.62	42.38
Школы	1 953	0	43	1 341 000	9 162 100	21.45	78.55
Учреждения дальнейшего обучения	432	0	10	410 000	435 617	37.96	62.04
Государственная служба здравоохранения <sup>b</sup>	1 033	0	43	949 470	325 888	69.21	13.93
<sup>a</sup> Цифры не охватывают Северную Ирландию.							
<sup>b</sup> Цифры взяты с января по декабрь 1995 года.							

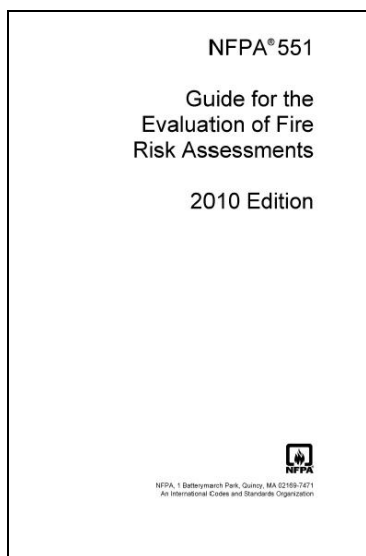
**Таблица А.17. Данные о надежности систем**

Общие данные о пожарах			Ссылка
Вероятность пожара, не зарегистрированного местной пожарной службой	Производственные	0.5 0.8	[63] [64]
	Коммерческие		
	Жилые дома	0.8	[65,66]
	Среднее	0.8	[63,64,65,66]
	Производственные Коммерческие	0.5 0.8	[63] [64]
Частота зарегистрированных пожаров на здание в год	Производственные	$4.4 \times 10^{-2}$	—
	Складские	$1.2 \times 10^{-2}$	—
	Магазины	$8.4 \times 10^{-3}$	—
	Офисы	$5.7 \times 10^{-3}$	—
	Отели и т.д.	$3.7 \times 10^{-2}$	—
	Жилые дома	$2.7 \times 10^{-3}$	—
Вероятность зарегистрированного пожара, причинившего ущерб имуществу, превышающий £1 миллион (цены 1992 года)	Производственные	0.004	[67]
	Другие коммерческие	0.001	[67]
	Образовательные	0.003	[67]
Типичная вероятность распространения для зарегистрированных пожаров	За пределы помещения, где произошло возгорание	0.1	[68]
	На другие здания	0.2	[68]
Пожарная сигнализация и системы обнаружения			
Увеличение вероятности более раннего обнаружения в зданиях с автоматической системой обнаружения пожара и сигнализации	Общий показатель	0.5 to 0.6	—
Надежность пожарного извещателя, проводки и звуковых сигнальных устройств	Общий показатель	0.95 to 1	—
Надежность пожарных детекторов	Коммерческое задымление	0.9	—
	Домашнее задымление	0.75	—
	Дыхательное задымление	0.9	—
	Тепло	0.9	—
	Огонь	0.5	—
Автоматическая система подавления огня			
Общее снижение потерь благодаря спринклерам	Общий показатель	50 %	—
Вероятность удачного функционирования спринклеров	Максимум	0.95	—
	Общее:		—
	Защита имущества	0.9	—
	Безопасность жизни	0.8	—
	Минимум	0.75	—
Вероятность удачного функционирования других систем обнаружения пожара и сигнализации	Общий показатель	0.9	—
Системы дымоудаления (механические и естественные)			
Вероятность функционирования системы по проекту, по требованию	Общий показатель	0.9	—
Пассивные пожарные системы			
Вероятность того, что огнестойкие структуры достигнут, по крайней мере, 75% предписанного стандарта огнестойкости	Кирпичная стена	0.75	—
	Перегородка	0.65	—
	Стекло	0.4	—
	Подвесные потолки	0.25	—
Вероятность блокировки пожарной двери в открытом состоянии	Общий показатель	0.3	—
Вероятность того, что самозакрывающиеся двери не закроются как следует по требованию (исключая те, которые блокированы в открытом состоянии)	Общий показатель	0.2	—

## ВЫДЕРЖКИ ИЗ NFPA 551

### **NFPA 551. «Руководство по анализу оценки пожарного риска»**

#### ***NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments***



Издательство: Национальная организация по противопожарной защите (NFPA), г. Куинси, штат Массачусетс, США  
*National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA*

ISBN: 978-087765984-6  
978-087765936-5

Формат: 29,7 x 21 см

Кол-во страниц: 33

Год издания: 2010



# **NFPA 551. «РУКОВОДСТВО ПО АНАЛИЗУ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА»**

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной главе представлены выдержки из документа американской Национальной ассоциации по противопожарной защите NFPA 551 «Руководство по анализу оценки пожарного риска» (*NFPA 551 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments*) [11]. Информация изложена на основе фрагментарного перевода данного руководства. В начале приводится оглавление в целях ознакомления читателей со структурой документа. Приведенные в данном обзоре части выделены в оглавлении жирным шрифтом.

- 1. Административная часть**
    - 1.1 Область применения**
    - 1.2 Цель**
    - 1.3 Применение**
    - 1.4 Квалификация специалистов**
    - 1.5 Риск**
  2. Нормативные ссылки
    - 2.1 Общие положения
    - 2.2 Публикации Национальной ассоциации по противопожарной защите
  - 3. Термины и определения**
    - 3.1 Общие положения**
    - 3.2 Официальные термины и определения Национальной ассоциации по противопожарной защите**
    - 3.3 Общие термины и определения**
  - 4. Анализ методов оценки пожарного риска**
    - 4.1 Общие положения**
    - 4.2 Заинтересованные лица**
    - 4.3 Роль компетентного органа в проведении проверки**
    - 4.4 Содержание оценки пожарного риска**
    - 4.5 Анализ неопределенности и неустойчивости**
  - 5. Методы оценки пожарного риска: выбор и анализ**
    - 5.1 Общие положения**
    - 5.2 Качественные методы**
    - 5.3 Полуколичественные методы оценки возможностей**
    - 5.4 Полуколичественные методы оценки последствий**
    - 5.5 Количественные методы**
    - 5.6 Техничко-экономические методы оценки пожарного риска**
  - 6. Требования к информации**
    - 6.1 Общие положения**
    - 6.2 Информация общего характера**
    - 6.3 Вопросы, обусловленные методом**
  - 7. Документация**
    - 7.1 Общие положения**
    - 7.2 Отчет о концепции оценки пожарного риска**
    - 7.3 Полная проектная документация**
    - 7.4 Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию**
    - 7.5 Контроль соблюдения требований**
  - 8. Методы проверки оценки пожарного риска**
    - 8.1 Методы технической проверки**
    - 8.2 Методы проверки оценки пожарного риска**
    - 8.3 Вопросы для проверки**
- Приложение А. Дополнительные материалы  
Приложение В. Справочная литература  
Алфавитный указатель

## **1. АДМИНИСТРАТИВНАЯ ЧАСТЬ**

### **1.1 Область применения**

Данное руководство предназначено для оказания помощи преимущественно компетентным органам в проведении анализа необходимости оценки пожарного риска и анализа ее выполнения для конкретной задачи пожарной безопасности. Несмотря на то, что данное руководство обращено главным образом к представителям компетентных органов, оно адресовано и другим специалистам, осуществляющим проверку оценки пожарного риска, таким как представители страховых компаний и владельцы зданий.

### **1.2 Цель**

Данное руководство нацелено на оказание помощи в проведении анализа методов оценки пожарного риска, используемых преимущественно в функционально-ориентированной нормативной среде. Несмотря на то, что руководство преимущественно предназначено для представителей компетентных органов, предполагается, что оно послужит полезным источником информации для любого специалиста, осуществляющего оценку пожарного риска. Данное руководство не указывает, какие методы обязательно использовать для демонстрации допустимого риска; скорее оно описывает процедуру технического анализа и документирования, необходимую при анализе оценки пожарного риска.

### **1.3 Применение**

Данное руководство предназначено для применения в оценке функционально-ориентированных решений, исследований, равнозначности норм, либо в анализе соответствия нормам, разработанным с использованием методов оценки пожарного риска.

### **1.4 Квалификация специалистов**

В данном руководстве предполагается, что специалисты, осуществляющие оценку пожарного риска, должны документально подтвердить свою квалификацию и предоставить эту информацию в компетентный орган. В зависимости от типа проводимой оценки пожарного риска документация должна включать информацию об образовании специалиста, опыте проведения оценок пожарного риска и профессиональной регистрации. Форма документации должна отвечать требованиям компетентного органа в контексте действующих законов и норм.

### **1.5 Риск**

**1.5.1** Связанный с проектом риск представляет собой сумму рисков для всех возможных сценариев пожара с ущербом, но на практике, как правило, рассматривается сокращенный вариант опасных факторов и сценариев пожара. Методы оценки пожарного риска могут учитывать специфичные элементы риска или риск, связанный с отдельными видами опасных факторов. Далее риск может измеряться с точки зрения отдельных заинтересованных лиц. В данном разделе указаны элементы риска, опасные факторы и заинтересованные лица, которые могут учитываться по требованию компетентного органа. Вне зависимости от точности расчета риска или метода представления заключения по оценке пожарного риска, критерии допустимого риска должны быть представлены одинаково в целях определения того, соответствуют ли результаты анализа данным критериям полностью или частично (для различных категорий риска) или полностью не соответствуют. Требования к предоставлению другой необходимой информации устанавливаются заинтересованными лицами.

На понимание риска, и, следовательно, его допустимости влияют ценности заинтересованных лиц. В связи с этим, ценности заинтересованных лиц должны быть зафиксированы в системе показателей рисков, которые могут включать в себя безопасность, имущество, прерывание коммерческой деятельности и «неосязаемую» собственность. Система показателей, связанная с этими ценностями, может включать в себя людей, попавших под воздействие, материальный ущерб в долларовом эквиваленте, площадь земли в акрах и т.д. Система показателей обычно выражена в виде соотношений (например, частота или вероятность возникновения в течение заданного периода времени). Заинтересованные лица могут присваивать разную значимость заданному риску в зависимости от имеющейся у них перспективы. Каждый компетентный орган может иметь собственную значимость в зависимости от его роли.

**1.5.2** С точки зрения пожарной безопасности опасными факторами обычно являются пожар, взрыв, дым и токсичность продуктов горения. Вероятности пожара и связанные с ними последствия выводятся из сценариев пожара, связанных с этими опасными факторами. Воздействие или ущерб по сценариям пожара выражены в системе показателей, связанной с ценностями, например, в виде количества людей, подвергшихся воздействию на определенной территории в год.

## 3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### 3.1 Общие положения

Определения, содержащиеся в данной главе, касаются терминов, используемых в данном руководстве. Если терминам не дано определение в данной главе или другой главе, их следует понимать в соответствии с их общепринятыми значениями в контексте их употребления.

### 3.2 Официальные термины и определения Национальной ассоциации по противопожарной защите

#### 3.2.1 Утвержденный – допустимый с позиции компетентного органа.

*Примечание.* Национальная ассоциация по противопожарной защите (NFPA) не занимается утверждением, проверкой или сертификацией каких-либо установок, процедур, оборудования или материалов, а также не занимается утверждением или оценкой экспериментальных лабораторий. При определении соответствия критериям допустимости установок, процессов, оборудования или материалов, компетентный орган вправе брать за основу соответствие критериям допустимости, представленным в руководстве Национальной ассоциации по противопожарной защите (NFPA), или других соответствующих стандартах. При отсутствии таких стандартов, компетентный орган вправе требовать доказательства, подтверждающие надлежащую установку, процедуру или эксплуатацию. Кроме того, компетентный орган может обратиться к практике учета или маркировки продукции, используемой в организациях по оценке продукции, и таким образом сможет определить соответствие выпускаемой продукции необходимым стандартам.

**3.2.2 Компетентный орган** – организация, офис или специалист, ответственные за приведение в исполнение требований норм или стандартов либо за утверждение оборудования, материалов, установки или процедуры.

*Примечание.* В связи с тем, что юрисдикции и уполномоченные органы, как и их полномочия, меняются, термин «компетентный орган» используется в документах Национальной ассоциации по противопожарной защите (NFPA) в достаточно широком значении. Если приоритетной задачей является обеспечение общественной безопасности, компетентным органом может являться министерство или представитель министерства на федеральном, местном, региональном уровне или уровне штата, такой как руководитель пожарного подразделения, руководитель пожарной службы, руководитель министерства пожарной безопасности, труда или здравоохранения, представитель строительного надзора или надзора в сфере энергетики, или другие уполномоченные представители власти. В сфере страхования компетентным органом может являться представитель департамента по страховому надзору, бюро оценки или другой страховой компании. В большинстве случаев полномочия компетентного органа берет на себя собственник или его уполномоченный представитель. В государственных учреждениях компетентным органом может являться высшее должностное лицо или представитель министерства.

**3.2.3 Руководство** – документ, являющийся рекомендательным или справочным по своей сути, содержащий необязательные положения. Руководство может включать в себя обязательные положения, например, о случаях его применения, но в целом как документ оно не подлежит утверждению в качестве закона.

**3.2.4 Маркированный** – оборудование или материалы, имеющие наклейку, символ или иной идентификационный знак организации, утвержденной компетентным органом и занимающейся оценкой продукции, которая проводит периодическое инспектирование производства маркированного оборудования или материалов, и с помощью маркировки которой производитель подтверждает соответствие требуемым стандартам или функционирование в соответствии с техническими условиями.

**3.2.5 Включенный в перечень** – оборудование, материалы или услуги, включенные в перечень, опубликованный организацией, утвержденной компетентным органом и занимающейся оценкой продукции или услуг, которая проводит периодическое инспектирование производства оборудования или материалов, включенных в перечень, или периодическую оценку услуг, чей перечень указывает на то, что оборудование, материал или услуга соответствуют требуемым специализированным стандартам, либо, что они были испытаны и подтвердили свое соответствие конкретной цели.

*Примечание.* В зависимости от занимающейся оценкой продукции организации, существуют различные методы определения внесенного в перечень оборудования. Некоторые организации не признают оборудование включенным в перечень, если оно не промаркировано. Для определения внесенной в перечень продукции, компетентный орган должен использовать систему, применяемую данными организациями.

**3.2.6 Должен (следует, необходимо)** – указывают на рекомендательный характер, а не на требование.

### 3.3 Общие термины и определения

**3.3.1 Критерии допустимости** – это единицы измерения и пороговые значения, в соответствии с которыми проводится анализ оценки пожарного риска.

**3.3.2 Последствие** – результат события, который может быть выражен в качественных или количественных показателях.

**3.3.3 Детерминированная модель** – модель, чьи выходные данные не являются вероятностями или распределениями вероятностей, т.е. в них не измеряется неопределенность.

*Примечание.* В детерминированной модели моделируемые величины рассматриваются как точно определенные, и целью модели является выполнение расчета данных величин. Например, в традиционной зонной

детерминированной модели для пожаров в помещениях, средняя температура слоя горячего газа в любой заданный момент времени рассчитывается как отдельное известное значение.

**3.3.4 Событие** – возникновение определенной совокупности обстоятельств, будь то определенных или неопределенных, единичных или множественных.

**3.3.5 Краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты** – описание планируемого подхода к проекту, в которое входит рассмотрение вопросов проведения оценки пожарного риска.

*Примечание.* Целью создания краткого описания (брифа) проекта пожарной защиты является упрощение выполнения анализа пожарного риска. Содержание краткого описания (брифа) проекта пожарной защиты может меняться в зависимости от целей проекта. Например, если частью анализа является объединение сценариев пожара в группы, то в этом случае информация о группах сценариев не войдет в краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты. Желательно согласовать содержание и метод оценки пожарного риска перед выполнением оценки пожарного риска.

**3.3.6 Оценка пожарного риска** – процедура определения риска, связанного с пожаром, при которой исследуется интересующий сценарий или сценарии пожара, вероятность их возникновения и потенциальные последствия. Для описания процедуры «оценки пожарного риска», используемой в данном руководстве, в других документах могут использоваться иные термины, такие как «анализ пожарного риска», «пожароопасность», «анализ опасных факторов» и «анализ оценки пожароопасности».

**3.3.7 Сценарий пожара** – в данном документе термин «сценарий пожара» означает совокупность условий и событий, описывающих развитие пожара, распространение продуктов горения, реакции людей и воздействие продуктов горения.

*Примечание.* Сценарий пожара представляет собой описание течения пожара с определением основных событий, характеризующих и отличающих пожар от других возможных пожаров. Как правило, в сценарии описывается процесс возгорания и роста пожара, стадия полностью развившегося пожара и стадия затухания. Также в сценарии описываются события, связанные со срабатыванием, отказом и функционированием оборудования и систем противопожарной защиты, программы управления и реагирование людей.

**3.3.8 Частота** – среднее количество повторений события в течение заданного периода времени.

**3.3.9 Возможность** – частота, вероятность или их сочетание.

**3.3.10 Метод** – процедура или способ, помогающие в решении модели.

**3.3.11 Модель** – имитация события.

**3.3.11.1 Вероятностная модель** – модель, чьи выходные данные являются вероятностями или распределениями вероятностей.

*Примечание.* В вероятностной модели моделируемые величины рассматриваются как неопределенные, и целью модели является расчет степени неопределенности данных величин. Например, при рассмотрении доступности системы противопожарной защиты невозможно точно определить ее работоспособность в любой заданный момент времени. Для расчета зависящей от времени вероятности работоспособности или неработоспособности системы можно использовать модель изменения состояний, представляющую различные состояния системы пожаротушения.

**3.3.12 Вероятность** – возможность события, выраженная числом от 0 до 1.

**3.3.13 Риск** – парные вероятности или последствия вероятных нежелательных событий, связанных с данным зданием или процессом.

**3.3.14 Группа (кластер) сценариев** – группа сценариев, имеющих несколько (но не все) общих определяющих характеристик.

*Примечание.* В целях сокращения вычислительной работы при выполнении оценки пожарного риска используется метод объединения отдельных сценариев в группы (кластеры) сценариев пожара таким образом, чтобы была возможность рассмотрения более ограниченного количества сценариев пожара. Объединение зависит от поставленных задач. Примером характеристик, на основе которых происходит объединение, может быть общий результат сценариев, общее инициирующее событие, общие дополнительные характеристики, такие как срабатывание спринклерных систем или использование материалов со сходными свойствами воспламеняемости.

**3.3.15 Полуколичественные методы** – методы, основанные на способности или необходимости количественного выражения возможности или последствий пожара (пожаров).

*Примечание.* Некоторые методы основаны на выходных данных детерминированной модели пожара с входными данными, основанными на количественном выражении возможности различных типов пожара и/или пожаров при различных типах защиты. В отличие от данных методов, внесение в модель пожара в помещении качественных входных данных из ряда сценариев пожара или сценария пожара с граничными условиями, дает количественные результаты, определяющие последствия пожара.

**3.3.16 Заинтересованное лицо** – человек, группа людей или организация, которые могут повлиять на риск, на которых может повлиять риск, или которые считают, что на них может повлиять риск.

**3.3.17 Валидация** – процесс определения правильности допущений и основных уравнений метода.

**3.3.18 Верификация** – процесс определения правильности расчетов или решений основных уравнений метода.

## 4. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

### 4.1 Общие положения

В данной главе рассматривается анализ методов оценки пожарного риска с описанием заинтересованных лиц, кратким обзором процесса проверки, осуществляемой компетентным органом, области применения методов оценки пожарного риска, ограничений оценки пожарного риска и неопределенности.

**4.1.1** Методы оценки пожарного риска могут применяться как инструменты концентрации внимания на том, что является важным в плане пожарной безопасности. Когда результаты и полученные данные оценки пожарного риска рассматриваются в сочетании с другими факторами, такая процедура обычно называется принятием решений с учетом рисков. «С учетом рисков» означает, что на принятие окончательного решения могут повлиять другие факторы, кроме риска. К таким факторам, кроме прочих, относятся правовые и социальные требования, нормы и стандарты, коэффициенты безопасности, затраты, приоритеты, глубокая и балансная защита.

**4.1.2** Методы оценки пожарного риска имеют широкое применение при решении вопросов пожарной безопасности. Примеры их применения показаны в таблице 4.1.2.

**Таблица 4.1.2. Примеры применения методов оценки пожарного риска**

Категория	Пример
Анализ проекта здания	Демонстрация соответствия функционально-ориентированному проекту Демонстрация адекватности существующего здания Демонстрация адекватности альтернативного проекта Демонстрация улучшения пожарной безопасности здания
Задачи в зависимости от конкретного типа применения	Демонстрация адекватности применения нового материала (например, материала для обивки стула) Определение требуемой защиты для транспортного средства, работающего на альтернативном топливе Определение необходимого уровня защиты, который будет внесен в требования норм или стандартов Демонстрация улучшения пожарной безопасности
Общее применение	Определение потребностей на случай аварийного реагирования (например, укомплектованность пожарных подразделений персоналом) Определение пожарного риска (типовое здание или местность в целом) для города, округа или штата при установлении норм и правил

### 4.2 Заинтересованные лица

Заинтересованных лиц, которых интересует содержание и применение оценки пожарного риска, следует выявить на начальном этапе процесса. К заинтересованным лицам относятся все те лица, которые имеют интерес к пожарному риску в плане финансов, безопасности персонала, общественной безопасности или инспектирования. К заинтересованным лицам (среди прочих) относятся:

- (1) инспектора;
- (2) владельцы и управляющие зданием;
- (3) персонал;
- (4) персонал аварийно-спасательных служб;
- (5) страховые компании;
- (6) соседи;
- (7) общество;
- (8) инвесторы;
- (9) группа проектировщиков и строителей;
- (10) специалисты, осуществляющие оценку пожарного риска;
- (11) жильцы/арендаторы.

**4.2.1** При планировании необходимо учесть всех возможных заинтересованных лиц, особенно если интересы этих лиц вступают в противоречие.

**4.2.2** Заинтересованные лица должны принимать участие в формулировании целей оценки пожарного риска, чтобы удостовериться, что результаты оценки станут надежным и достоверным основанием для принятия решений.

### 4.3 Роль компетентного органа в проведении проверки

В данном руководстве предполагается, что проверка проекта проводится с использованием оценки пожарного риска согласно пп.4.3.1 – 4.3.2.3.. Процедура проверки представлена на рис. 4.3.

**4.3.1 Анализ оценки пожарного риска.** Анализ оценки пожарного риска должен осуществляться при совместном участии заинтересованных лиц. Для корректного анализа оценки пожарного риска эксперта, осуществляющего анализ, следует ознакомить с проектом как можно раньше.

**4.3.2 Участие компетентного органа.** Компетентный орган должен участвовать в следующих этапах процесса: определение задачи и критериев допустимости, выбор метода, процесс проверки, подробная проверка и окончательное утверждение.

**4.3.2.1 Определение процедуры проверки.** Компетентный орган должен определить свою роль в непосредственной проверке оценки пожарного риска. В зависимости от опыта в проведении проверки оценки пожарного риска и ресурсов компетентного органа, компетентный орган может взяться за проведение проверки либо поручить ее выполнение третьим лицам.

**4.3.2.2 Подробная проверка.** В ходе проверки оценки пожарного риска компетентный орган должен проверить, отражают ли применяемые в анализе допущения, характеристики здания, характеристики населенности и характеристики пожара реальные условия. Вопросы, которые следует учитывать, перечислены в п.8.3. Кроме того, должна быть проведена проверка моделирования, которое применялось при оценке пожарного риска.

**4.3.2.3 Окончательное утверждение.** Окончательное утверждение оценки пожарного риска осуществляется компетентным органом.



**Рис. 4.3. Схема процесса проведения проверки**

## 4.4 Содержание оценки пожарного риска

### 4.4.1 Определение целей и задач

**4.4.1.1** Необходимо определить и документально зарегистрировать цель проведения оценки пожарного риска. Целью может быть определение уровня риска в существующем здании или сооружении, определение методов снижения риска в существующем здании или сооружении или определение методов, обеспечивающих такой уровень риска, который считается допустимым в новом или реконструированном здании или сооружении. Задачи оценки пожарного риска могут быть связаны с риском для жизни (пользователей здания или пожарных), риском для имущества, риском для производства (например, ущербом, связанным с прерыванием производственного процесса), риском для окружающей среды или риском утраты культурного наследия. Для новых и существующих зданий должны быть четко сформулированы задачи пожарной безопасности и надлежащего функционирования, которые обычно основаны на характеристиках и функциях здания, а также на ожиданиях владельца здания в плане пожарной безопасности в определенный период времени или на протяжении всего расчетного срока службы здания.

**4.4.1.2** Побочные вопросы, выходящие за пределы оценки пожарного риска, или исключения из оценки пожарного риска могут быть положены в основу дополнительных оценок риска, но не должны уводить оценку пожарного риска от ее конкретных задач.

**4.4.2 Элементы риска.** Должны быть охарактеризованы следующие элементы, влияющие на пожарный риск.

**4.4.2.1** Должен быть определен объект, подвергающийся риску. К таким объектам может относиться любой из перечисленных ниже объектов или все эти объекты вместе:

- (1) Люди (пользователи здания, персонал, население, персонал аварийно-спасательных служб);
- (2) Имущество (конструкции, системы, компоненты застроенной среды);
- (3) Окружающая среда (национальные парки, памятники, опасные материалы);
- (4) Объекты целевого назначения (наследие, непрерывность производственного процесса, информация / связь).

**4.4.2.2** Должны быть охарактеризованы факторы пожара, к воздействию которых уязвим объект. К ним может относиться любой из перечисленных ниже факторов или их сочетание:

- (1) Тепло (лучистое пламя, конвективные газы);
- (2) Дым (снижение видимости, вдыхаемые, едкие/проводящие аэрозоли);
- (3) Газы (токсичные, едкие).

Опасные для дыхательной системы факторы могут быть вызваны вдыханием загрязненного воздуха с содержанием ядовитых частиц, паров, газов, ядовитого дыма или аэрозолей. Вдыхаемые аэрозоли классифицируются как дисперсные опасные факторы, к которым относятся механические дисперсоиды, конденсационные коллоиды, пыль, распылители, пары, испарения, туман, дым и смог. Как правило, критерии размеров частиц для вдыхаемых аэрозолей рассчитываются исходя из размера частиц в диапазоне от 0,1 до 10 микрон.

**4.4.2.3** Следует охарактеризовать явления переноса, которые приводят к контакту факторов пожара с объектом, подвергающимся воздействию.

**4.4.2.4** Следует оценить реакцию подвергаемого воздействию объекта на результирующие факторы пожара для определения того, удовлетворены ли критерии допустимости.

#### **4.4.3 Критерии допустимости.**

**4.4.3.1** Должна быть установлена система показателей, по которым фиксируются результаты таким образом, который облегчает принятие решений.

**4.4.3.2** Результаты могут быть достаточно относительными (например, по сравнению с исходными или со сравниваемыми альтернативными вариантами) или абсолютными (например, количество смертельных случаев в год). В этом контексте они могут быть качественными или количественными.

**4.4.3.3** Критерии допустимости могут быть выражены в форме количественного значения риска, сравнительного значения или иных значений в зависимости от договоренности среди заинтересованных лиц и с компетентным органом. Форма критериев допустимости должна зависеть от задачи, связанной с риском, и должна влиять на выбор соответствующих методов оценки пожарного риска.

**4.4.3.4** Критерии допустимости должны быть установлены на этапе предварительного планирования. В зависимости от мнения заинтересованных лиц критерии допустимости могут быть сконцентрированы на одном и более из следующих факторов:

1. Человеческие жертвы
2. Экологический ущерб
3. Материальный ущерб
4. Прерывание коммерческой деятельности
5. Затраты на внедрение программы управления рисками
6. Потеря репутации
7. Утрата доверия общества
8. Потеря сооружений и объектов, представляющих наследие и историческую ценность

**4.4.3.5** Критерии допустимости могут быть основаны на одном из следующих пунктов:

- (1) предписывающие требования;
- (2) функциональные требования;
- (3) иные согласованные критерии;
- (4) стандарты и руководства.

**4.4.3.6** Заключение оценки пожарного риска должны быть представлены таким образом, чтобы соответствовать ее задачам. Для анализа проекта критерии должны указывать все риски, которые необходимо учесть, и то, как эти риски будут измерены. Критерии могут быть заданы в абсолютных величинах или сравнениях с исходными данными. Они могут в дальнейшем задавать ограничения вероятности, последствий или риска.

#### **4.4.4 Методы**

**4.4.4.1 Выбор методов.** Должно быть дано краткое описание примененного метода, и его соответствие задачам оценки пожарного риска должно быть документально зарегистрировано. Документация должна включать в себя краткое описание метода решения, численные расчеты (включая определение используемых единиц измерения) и определение источника или выведение всех уравнений, которые не являются широко применяемыми.

**4.4.4.2** Методы могут включать в себя разнообразные элементы в зависимости от определения задачи. Эти элементы могут быть качественными или количественными и могут включать в себя детерминированные или вероятностные модели.

**4.4.4.3** Каждый элемент метода следует применять правильно, учитывая область его применения и ограничения (см. главу 5).

#### **4.4.5 Данные**

**4.4.5.1** Данные, используемые с выбранным методом, должны соответствовать требованиям и необходимому качеству, чтобы обеспечить процесс принятия решений по определенной задаче (см. главу 6).

**4.4.5.2** Содержание и ограничения входных данных должны быть четко указаны в документах.

**4.4.5.3** Необходимо определить источники данных.

**4.4.5.4** Должно быть дано четкое объяснение любых допущений или значений по умолчанию, используемых при отсутствии данных.

**4.4.5.5** Методы, данные и результаты оценки пожарного риска должны быть документально зарегистрированы, чтобы можно было провести их проверку и произвести изменения в управлении или условиях, которые могут повлиять на риск возникновения пожара (см. главу 6).

#### **4.5 Анализ неопределенности и неустойчивости**

Оценка пожарного риска должна включать в себя оценку неопределенностей моделей и методов и неопределенностей и неустойчивости применяемых допущений и данных. Такая оценка должна обеспечить обоснованную уверенность в том, что критерии допустимости удовлетворены. Приведенные ниже положения характерны для анализа неопределенности и неустойчивости:

- (1) *Неопределенность и неустойчивость.* Неопределенность характеризуется как недостаток знаний, который можно восполнить в дальнейших исследованиях и испытаниях (например, теплоту сгорания конкретной породы дерева можно определить с помощью проведения испытаний). Неустойчивость характеризуется случайными или стохастическими процессами, которые невозможно заведомо снизить или исключить (например, распределение людей по зданию или пожарная нагрузка в помещении).
- (2) *Теория и пример неопределенности.* Модели отражают реальность. Во многих моделях используются упрощающие допущения, а в некоторых сферах наблюдается недостаток научных знаний. Кроме того, в основе многих моделей лежат опытные данные испытаний, проведенных в специальных условиях (например, при высоте потолка в диапазоне от 2,5 до 12 метров). Применение таких моделей без соблюдения данных условий (например, в зонах с высотой потолка менее 2,5 или более 12 метров), представляет неопределенность.
- (3) *Данные и примеры входных данных.* Большая часть входных величин, используемых в расчетах пожарного риска, обусловлена неопределенностью. Для строго определенных систем разрешается наличие допустимых отклонений (например, температура активации спринклеров может варьироваться в пределах  $\pm 5\%$  от номинальной температуры). Данные натурных испытаний представляют неопределенность в связи с тем, что не все события известны, а также обобщением небольшого числа экспериментальных точек.
- (4) *Ограничения по расчетам.* Некоторые модели являются более сложными. Если упрощенные модели подходят для решения сравнительно несложных задач, то некоторые сферы применения требуют использования более сложных моделей. Следовательно, зависимость между сложностью используемой модели и сложностью сферы применения представляет неопределенность.
- (5) *Выбор сценария пожара.* Как правило, сценарии пожара представляют собой прогнозирование вероятных типов событий. Степень точности отражения вероятных событий в сценарии пожара представляет неопределенность.
- (6) *Неопределенность реагирования людей.* Неопределенность возникает при прогнозировании в сценарии пожара вероятных действий, которые могут предпринять люди.
- (7) *Неопределенность оценки, восприятия и отношения к риску.* Разные люди считают допустимым различный уровень риска. Следовательно, неопределенность возникает при определении «допустимого» уровня риска.



## 5. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА: ВЫБОР И АНАЛИЗ

### 5.1 Общие положения

В данной главе представлены разные типы оценки пожарного риска, включая рекомендации по правильному выбору и применению различных типов методов и моделей оценки риска.

**5.1.1 Концепции оценки пожарного риска.** При анализе методов оценки пожарного риска необходимо рассмотреть следующие концепции оценки пожарного риска: риск, исходя из возможности и последствий, и содержание оценки пожарного риска, исходя из систем и сценариев пожара.

**5.1.1.1 Возможность и последствия.** Методы оценки пожарного риска должны анализировать возможность и последствия сценариев пожара, как описано ниже:

(1) анализ возможности может быть основан на прошлом опыте (например, статистике) достаточно понятных событий или на сочетании имеющихся знаний и принятой математической обработке (субъективной) для менее понятных событий и там, где высоки значения неопределенности и неустойчивости.

(2) анализ последствий может быть основан на экспертных знаниях (например, балльной оценке рисков), вероятностном моделировании (например, прогнозе достижения безопасных или небезопасных условий на основе дерева безопасности) или детерминированном моделировании (например, прогнозе достижения безопасных или небезопасных условий на основе роста пожара, распространения дыма и эвакуации людей).

**5.1.1.1.1** В зависимости от целей оценки пожарного риска анализ возможности и/или последствий может быть основан на изменениях, связанных с разными вариантами проектирования, а не на абсолютных значениях.

**5.1.1.1.2** Одни методы могут пытаться оценить или сравнить изменение в возможности возникновения некоторых событий (например, варианты проекта могут пытаться изменить вероятность возникновения события), вторые – оценить влияние разных проектных решений на последствия (например, они допускают, что событие произойдет), третьи – оценивают и то, и другое.

**5.1.1.1.3** Некоторые методы, такие как балльная оценка рисков, предлагают измерение относительного риска, который лишь косвенным путем определяет возможность и последствия.

**5.1.1.2 Содержание оценки пожарного риска: концепции и системы.** В зависимости от цели оценки пожарного риска может включать в себя оценку одной концепции противопожарной защиты или системы по общему уровню риска или оценку многих концепций или систем по общему уровню риска, как описано ниже:

(1) оценка пожарного риска для одной системы включает в себя оценку влияния изменений на уровень риска при условии, что эти изменения (такие как наличие или отсутствие спринклерной системы или системы пожарной сигнализации) произошли в одной системе противопожарной защиты;

(2) оценка пожарного риска для многих систем включает в себя оценку влияния изменений на уровень риска при условии, что эти изменения произошли в нескольких противопожарных системах, как активных, так и пассивных, а также с учетом таких факторов, как система эвакуации, характеристики пользователей здания, обучение и образование.

**5.1.1.2.1** Оценка пожарного риска для одной системы может быть проведена на разных уровнях. Например, один уровень сложности включает в себя сравнение одной системы противопожарной защиты с другими аналогичными системами, рассматривая влияние изменений свойств системы (например, плотность воды или тип головки спринклера) на уровень риска. Другой уровень сложности необходим для сравнения эффективности одного типа системы автоматического пожаротушения с другим в зависимости от их способности потушить пожар за определенный период времени.

**5.1.1.2.2** Сравнения многих систем часто требуют относительно сложных методов, в которых общее влияние на пожарный риск оценивается, основываясь на наличии, надежности и работе как пассивных, так и активных систем противопожарной защиты, а также на других факторах, которые могут повлиять на общий риск.

**5.1.1.2.3** Дерево концепций пожарной безопасности в стандарте NFPA 550 «Руководство к дереву концепций пожарной безопасности» [12] предоставляет подробный обзор концепций или систем, которые может потребоваться рассмотреть при оценке пожарного риска.

**5.1.1.3 Содержание оценки пожарного риска: сценарии пожара.** Оценка пожарного риска должна рассматривать риски, возникающие при всех потенциально значимых сценариях пожара. Использование аппроксимаций (например, риск, возникающий при одном сценарии пожара, используется в качестве основы для оценки риска в случае широкого диапазона сценариев пожара) должно быть обоснованным в контексте задачи принятия решений.

**5.1.1.4 Сценарий пожара.** В зависимости от поставленной цели и задач оценки пожарного риска может возникнуть необходимость для метода оценки пожарного риска подробно оценить влияние варианта проекта на каждое событие в сценарии пожара, чтобы оценить риск, связанный с этим вариантом. Ниже представлены примеры для типового сценария пожара:

(1) *Возгорание.* Сценарий часто основан на наиболее вероятном событии в конкретной обстановке, например, возгорание кровати от окурка сигареты в жилом помещении. Обучение по пожарной безопасности снизит вероятность возникновения такого события и связанных с ним рисков.

(2) *Рост пожара.* Сценарий основан на всех возможных вариантах протекания пожара от тлеющего пожара до вспышки. Системы противопожарной защиты, такие как спринклеры, деление на пожарные отсеки и меха-

низмы автоматического закрывания дверей, могут помочь сдержать эти пожары и снизить связанные с ними риски. Снижение риска зависит от надежности и эффективности систем пожарного контроля.

(3) *Распространение дыма.* Сценарий основан на распространении дыма в основные пути эвакуации и другие части здания. Системы противопожарной защиты, такие как противодымная защита и подпор воздуха в лестничные клетки, могут помочь сдержать распространение дыма и снизить связанные с ним риски. Снижение рисков зависит от надежности и эффективности систем дымоудаления.

(4) *Воздействие пожара на пользователей здания.* Сценарий основан на блокировании путей эвакуации дымом и огнем. Системы противопожарной защиты, такие как пожарная сигнализация, голосовая связь, беспрепятственные пути эвакуации и зоны безопасности, могут помочь предупредить людей об опасности на начальной стадии пожара и направить их либо на эвакуацию из здания, либо в конкретные зоны безопасности. Снижение риска зависит от надежности и эффективности систем оповещения и эвакуации.

(5) *Сбой в работе пожарного подразделения.* Сценарий основан на отсутствии реагирования или позднем реагировании пожарного подразделения. Своевременное уведомление пожарных и необходимые ресурсы пожарного подразделения помогают спасти людей, которые не смогли самостоятельно выбраться из здания, или контролировать развитие пожара. Снижение риска зависит от надежности процедуры уведомления и адекватности ресурсов пожарного подразделения.

**5.1.1.5 Выбор сценариев пожара.** Целью выбора сценариев пожара для анализа является найти ряд сценариев, которые в достаточной степени разнообразны и показательны с тем, чтобы анализ риска для этих сценариев охватывал общий пожарный риск для данного здания. Сценарии могут быть объединены в группы сценариев. Из каждой группы сценариев выбирается один показательный сценарий в целях анализа последствий. Если возможности сценариев определены количественно, частота группы сценариев является суммой частот отдельных сценариев данной группы.

#### **5.1.2 Методы оценки пожарного риска: категории**

**5.1.2.1** В таблице 5.1.2.1 представлены пять категорий методов оценки пожарного риска. В порядке увеличения сложности методы таковы:

- (1) качественный метод;
- (2) полуколичественный метод оценки возможностей;
- (3) полуколичественный метод оценки последствий;
- (4) количественный метод;
- (5) технико-экономические методы оценки риска.

**5.1.2.2** В таблице даны определения, типы выходных данных и примеры для всех пяти категорий.

**Таблица 5.1.2.1. Категории методов оценки пожарного риска**

<b>Категория</b>	<b>Определение</b>	<b>Тип выходных данных*</b>	<b>Примеры</b>
Качественный метод	Обрабатывает как возможность, так и последствия в качественных показателях	Табличные данные о результатах и относительной возможности различных сценариев пожара, а также влияния на них различных вариантов противопожарной защиты	Анализ «что если...?» Матрицы рисков Балльная оценка рисков Дерево концепций пожарной безопасности
Полуколичественный метод оценки возможности	Обрабатывает возможность в количественных показателях, а последствия - в качественных	Определение частоты возникновения разных типов пожаров и/или в зависимости от разных типов защиты	Страховой анализ / статистический анализ убытков Анализ дерева отдельного события
Полуколичественный метод оценки последствий	Обрабатывает последствия в количественных показателях, а возможность - в качественных	Выходные данные детерминированной модели пожара с обработкой возможности в качественных показателях	Модели пожара в помещениях для выбранных сложных сценариев пожара
Количественный метод	Объединяет количественную оценку возможности и последствий	(1) определение ожидаемого ущерба; или (2) определение вероятности вспышки; или (3) определение вероятности смертельных исходов в других помещениях или этажах здания; или (4) диаграмма частоты относительно количества смертельных случаев; или (5) диаграмма частоты относительно величины ущерба; или (6) определение возможности травм, смертельных случаев,	Методы оценки пожарного риска для определения возможности плавления активной зоны ядерного реактора Анализ дерева событий в сочетании с моделями пожара

		ущерба имуществу и прерывания коммерческой деятельности; или (7) определение индивидуального риска (пользователям здания) и общественного риска (всему населению)	
Технико-экономические методы оценки риска	Включают в себя определение затрат на альтернативные подходы по ограничению последствий и/или возможностей	(1) определение затрат, требующихся для достижения разных уровней снижения риска; или (2) определение «оптимального» уровня противопожарной защиты, основанного на сведении «общего риска» к минимуму или на другом показателе риска	Вычислительные модели, включающие в себя комплексные данные о вероятности, последствиях и затратах

\* Перечисленные типы выходных данных являются показательными, а не всеобъемлющими.

Качественные показатели могут использоваться в тех методах оценки пожарного риска, для которых приоритетной задачей является сравнение со стандартами. К методам, в которых используются качественные показатели, относятся контрольные списки и анализ «что если...?». Качественные показатели могут использоваться в методах оценки пожарного риска, в которых производится сравнение рисков, представленных в базовом и альтернативном вариантах.

Количественные показатели могут также использоваться для установления и подтверждения соответствия критериям допустимости. Ниже приведены примеры допустимых количественных критериев:

- (1) Ожидаемая оценка риска (в долларах США)
- (2) Ожидаемое количество травм на единицу общей площади
- (3) Определенные системы количественной или балльной оценки риска
- (4) Ожидаемый риск для жизни
- (5) Процентное соотношение ущерба от пожара
- (6) Масштаб распространения пожара

**5.1.3 Выбор методов.** При выборе метода оценки пожарного риска для конкретного применения необходимо учитывать следующие факторы: цели заинтересованных лиц и критерии допустимости; содержание оценки пожарного риска; целевая аудитория и лица, принимающие решения; нормативные и/или судебные вопросы; прецеденты подобного применения; имеющиеся в наличии ресурсы и данные; ограничения по времени и расходам; квалификация персонала и потенциальная необходимость учета неопределенностей. Краткое пояснение к этим факторам приведено в пп.5.1.3.1 – 5.1.3.7.

**5.1.3.1 Цели оценки пожарного риска.** Перед выбором конкретного метода или категории необходимо четко сформулировать цели оценки пожарного риска. Например, если цель заключается в том, чтобы осуществить предварительную оценку пожарного риска для первоначального тестирования, тогда может быть достаточно использовать простой качественный метод. С другой стороны, если оценка проводится с целью дать окончательную оценку общего пожарного риска, тогда необходимо использовать количественный метод. Выбор конкретного количественного метода зависит от необходимости рассмотрения только одного показателя или многих показателей риска, а также от того, входит ли в оценку учет затрат.

**5.1.3.2 Содержание оценки пожарного риска.** Содержание оценки пожарного риска рассматривается в п.5.1.1.2. Оно определяет, как оценка пожарного риска рассматривает многочисленные пожарные сценарии (например, должна ли оценка прямым образом включать в себя расчеты для различных сценариев пожара и связанных с ними рисков или ограничиваться оценкой выбранного сложного сценария пожара или оценкой наиболее вероятного сценария пожара). Предполагается, что при выборе сложных сценариев пожара упор делается на тяжелые (и при этом достоверные) сценарии, которые всерьез проверяют на прочность особенности спроектированной противопожарной защиты.

В данном руководстве термин «*сложный сценарий пожара*» используется вместо общепринятого термина «*наиболее неблагоприятный сценарий пожара*» в связи с тем, что в контексте оценки пожарного риска последний термин потенциально вводит в заблуждение. Для большинства практических задач оценки риска определение «*наиболее неблагоприятный*» является произвольным, и при любом заданном условном сценарии с учетом последствий специалисты по оценке пожарного риска, как правило, могут определить сценарии с неблагоприятными последствиями. Тем не менее, авторы данного руководства согласны с общим смыслом термина «*наиболее неблагоприятный*».

**5.1.3.3 Целевая аудитория.** Результаты оценки пожарного риска, а следовательно, и выбранный метод оценки, должны согласовываться со знаниями и потребностями целевой аудитории.

**5.1.3.4 Нормативные вопросы.** Государственные нормы и правила могут требовать использования конкретных методов оценки пожарного риска. Например, существуют нормы и правила с максимально допустимым риском для некоторых типов зданий с повышенным уровнем опасности, таких как атомные электростанции, приемные терминалы сжиженного природного газа и производственные помещения, в которых содержание некоторых воспламеняемых газов и паров превышает пороговое значение. Эти нормы и правила опреде-

ляют типы мер по снижению рисков, оценку которых необходимо осуществить, и часто описывают тип метода, который следует использовать для проведения анализа.

**5.1.3.5 Прецеденты.** Соответствующие прецеденты, возникшие в результате успешного проведения оценок пожарного риска, могут использоваться в качестве основы при выборе методов оценки пожарного риска. Эти прецеденты облегчают выбор подходящей категории методов оценки пожарного риска для аналогичных случаев применения. Например, анализ вероятностей вызванного пожаром плавления активной зоны ядерного реактора на атомных электростанциях осуществляется с использованием сочетаний анализа дерева отказов и дерева событий. Эти анализы обычно проводят и представляют как количественные методы оценки пожарного риска.

**5.1.3.6 Квалификация персонала.** При анализе оценки пожарного риска следует рассмотреть квалификации специалистов, осуществляющих оценку. Знания и опыт персонала в понимании проблемы рисков и осуществлении соответствующего типа оценки пожарного риска являются важными факторами, требующими рассмотрения.

Качественные методы требуют тщательной технической оценки. Помимо проводимой аналитической работы по качественным методам оценки пожарного риска, техническая оценка также основывается на опыте, который в свою очередь формируется за счет участия специалистов в опытных испытаниях, реальных пожарных мероприятиях, расследованиях происшествий, моделировании систем и наличия соответствующего образования. При разработке оценки пожарного риска в основной части работы по качественным методам используется командный подход, позволяющий гарантировать наличие соответствующего разностороннего опыта. Для любого качественного метода оценки пожарного риска одним из требований является наличие, как минимум, у одного из специалистов большого опыта работы по выбранному методу анализа риска.

Качественные методы, в особенности те, по которым разработана строго определенная методология и проведена ее экспертная оценка, требуют наличия большого технического опыта. Некоторые аналитические работы требуют наличия специализированных знаний в различных областях. К примерам таких знаний относятся:

- (1) Реакция людей на специфичный ядовитый газ
- (2) Реакция монтажных плат на высокую влажность и дым
- (3) Инженерная экономика
- (4) Статистические данные

Как и в случае с качественными методами, командный подход может гарантировать качество оценки пожарного риска.

**5.1.3.7 Неопределенности.** Оценка пожарного риска должна рассматривать неопределенность и неустойчивость, связанные с определением риска. В одних случаях неопределенность и неустойчивость рассматриваются с помощью качественных методов (возможно, на основе уровня достоверности), в других – с помощью количественных. Необходимость количественной оценки продиктована потребностями задачи принятия решений, которую рассматривает оценка пожарного риска. Количественные оценки могут быть особенно полезны в сложных ситуациях, когда трудно оценить совокупные воздействия неопределенностей в разных частях оценки пожарного риска.

**5.1.4 Методы оценки пожарного риска: учитываемые факторы.** При анализе правильного применения различных методов оценки пожарного риска необходимо учитывать факторы, указанные в пп.5.1.4.1 – 5.1.4.9. Обсуждение учитываемых факторов для различных методов приведено в пп.5.4-5.6.

**5.1.4.1 Типы и общие признаки методов.** Методы должны учитывать полный спектр возможных сценариев пожара в соответствии с п.5.1.1.4. Каждый сценарий пожара имеет разную вероятность возникновения и представляет разный уровень опасности для пользователей здания. В связи с этим, правильная оценка риска должна включать в себя все возможные сценарии пожара и обеспечивать основу для отсеивания или выбора сценариев. Кроме того, методы должны включать в себя оценку капитальных затрат и эксплуатационных расходов на систему противопожарной защиты, а также ущерб, нанесенный пожаром в результате возможного распространения пожара в здании.

**5.1.4.2 Доступность, качество и применимость методов.** Необходимо учитывать общедоступность метода или, иными словами, как метод может быть получен пользователем. Собственные или малоизвестные методы могут быть сложно проверить и верифицировать. Необходимо определить качество метода или, иными словами, насколько метод основан на противопожарном проектировании (на основании документации и анализе его применений). Необходимо оценить применимость или пригодность метода в соответствии с содержанием оценки пожарного риска, как описано в п.4.4.1, в целях определения условия (такого как тип здания), при котором данный метод может быть применен.

**5.1.4.3 Входные данные.** Входные данные или необходимые значения для параметров требуются до того, как можно будет применить метод, и они должны рассматриваться как с точки зрения необходимого количества данных, так и с точки зрения доступности этих данных. Если в методе применяются значения по умолчанию, когда не вводятся конкретные значения, эти значения по умолчанию должны оцениваться как часть допущений.

**5.1.4.4 Допущения.** Методы должны четко описывать допущения, используемые в модели. Допущения помогают пользователю увидеть, можно ли использовать модель и связанный с ней метод для конкретного применения.

**5.1.4.5 Оценка надежности, доступности и эффективности.**

**5.1.4.5.1** Методы оценки должны касаться вопросов надежности, доступности и эффективности противопожарной защиты и других основных систем как одной из частей оценки пожарного риска. Эти элементы необходимы для оценки возможности успешного применения стратегий снижения риска.

**5.1.4.5.2** Эффективность противопожарного оборудования, свойств, программ и процедур изменяется с течением времени. Оценка пожарного риска должна учитывать, каким образом эти изменения могут влиять на риск.

Для эффективной работы оборудование должно быть надежным и работоспособным. При оценке пожарного риска должны учитываться оба эти фактора. Надежные устройства, если они часто отключены, и системы высокой готовности с низким уровнем надежности, не выполняют защитную функцию. Как правило, уровень надежности некоторых систем защиты со временем, под воздействием окружающей среды или в зависимости от наработанных часов, снижается. Для некоторого оборудования, в особенности электронного, на ранней стадии характерны отказы в период приработки с последующим продолжительным периодом редких отказов вплоть до момента выработки полного ресурса, сопровождающегося увеличением частоты отказов. Для других систем, например, противопожарных преград, снижение надежности характерно в процессе эксплуатации здания, но при наличии комплексных программ технического обслуживания можно поддерживать их надежность на должном уровне. При оценке пожарного риска должны рассматриваться и решаться такие вопросы, как поддержание должного уровня эффективности работы оборудования, программ и процессов.

**5.1.4.6 Неопределенность и неустойчивость.** Методы должны помогать в оценке важности входных параметров и допущений и неопределенности выходных данных (см. пп.5.1.3.7, 5.4.6 и 5.5.6).

**5.1.4.7 Выходные данные.** Выходные данные как прогнозы метода следует рассматривать как с точки зрения того, насколько они соответствуют содержанию оценки пожарного риска, так и с точки зрения того, насколько четко они выражены.

**5.1.4.8 Полнота, надежность и глубина моделей.** При выборе, применении и проверке методов оценки пожарного риска необходимо учитывать, насколько хорошо модель охватывает все определяющие параметры, насколько безотказно может работать основанный на модели метод, и насколько хорошо модель и связанный с ней метод охватывают весь спектр факторов, входящих в оценку пожарного риска.

**5.1.4.9 Валидация метода.** Хотя валидация метода оценки пожарного риска сложная, поскольку прогнозирование маловероятных событий требует наличия большой базы данных и длинной временной шкалы, при выборе метода следует учитывать шаги, предпринятые для валидации метода. Валидация метода может быть осуществлена путем: 1) сравнения смоделированной с его помощью вероятности со статистическими данными или опытом; и 2) сравнения смоделированных с его помощью последствий с экспериментальными данными или другим математическим моделированием, прошедшим валидацию.

## **5.2 Качественные методы**

Качественные методы являются инструментами, используемыми в процессе оценки пожарного риска, но не рассматриваемыми в количественном выражении ни последствия, ни возможность. Они не являются методами оценки пожарного риска с точки зрения данного руководства до тех пор, пока не будут учтены как последствия, так и возможности. Качественные методы часто применяются для разработки сценариев в целях использования с другими методами оценки пожарного риска.

**5.2.1 Анализ «что если...?».** Анализ «что если...?» представляет собой спонтанный мозговой штурм, помогающий выявить события, которые могут привести к неблагоприятным последствиям. Метод включает в себя исследование возможных отклонений от критериев проектирования, строительства, модифицирования или эксплуатации. Вопросы «что если...?» формулируются, исходя из базового понимания того, что должно происходить, и что может пойти не так, как надо. Например, «Что если пожарный насос не сработает?» Цель заключается в том, чтобы определить последовательность возможных аварийных событий и на основе этого выявить опасные факторы, последствия и иногда потенциальные методы снижения риска. Данный способ отличается от других способов выявления опасных факторов присущим ему неструктурированным форматом и использованием вопросительной формы «что если...?». Выходные данные обычно представлены в табличной форме в виде повествовательного перечисления потенциальных аварийных ситуаций без ранжирования и количественных выкладок.

Ответ на вопрос «что если...?» должен описывать состоящий из событий сценарий. Необходимо четко фиксировать результат сценария при отказе или сбое систем. Последствие, как физический эффект или воздействие, необходимо рассчитывать при условии нормального режима работы всех пассивных и активных систем управления и противопожарной защиты (например, систем, для работы которых необходимо наличие электроэнергии, механической энергии или контроль со стороны специалистов). При оценке последствий предпочтительно учитывать результат при условии отказа всех активных систем и нормальной работы пассивных систем. При необходимости, возможности воздействия каждого последствия следует определять совместно с указанием рекомендаций по мерам предотвращения, контроля и снижения последствий.

**5.2.2 Контрольные списки.** Контрольный список является перечислением конкретных моментов для определения известных типов опасных факторов, конструктивных недостатков и возможности возникновения и последствий потенциальных пожаров. Выявляемые моменты сравниваются с соответствующими стандартами.

Контрольные списки, в которых не рассматриваются возможность и последствия, не должны использоваться в качестве метода оценки пожарного риска. Контрольный список должен быть комплексным и относиться к специфичной оценке. Контрольные списки следует использовать строго в рамках области их применения. Контрольные списки должны рассматривать интеграцию различных функций защиты без ограничения концен-

трации внимания на каждом отдельном пункте. Все пункты контрольного списка не обязательно должны иметь одинаковую степень важности.

**5.2.3 Дерево концепций пожарной безопасности, предложенное Национальной ассоциацией по противопожарной защите (NFPA).** В стандарте NFPA 550 «Руководство по дереву концепций пожарной безопасности» [12] приведена схема ветвления, демонстрирующая связи между стратегиями противопожарной защиты и стратегиями контроля за ущербом от пожаров. Она задает общую структуру, позволяющую проанализировать потенциальное влияние стратегий пожарной безопасности, таких как конструкция, воспламеняемость содержимого, защитные устройства и эвакуация пользователей здания. Она помогает выявить проблемы и зоны избыточности в противопожарной защите при принятии решений по противопожарному проектированию.

**5.2.3.1** Дерево концепций пожарной безопасности отражает все элементы, которые могут рассматриваться при оценке пожарной безопасности, и взаимосвязи между этими элементами. Дерево помогает исследовать все аспекты пожарной безопасности путем постепенного логического перемещения по различным концепциям и демонстрирует, как каждый из них может влиять на достижение задач пожарной безопасности.

**5.2.3.2** Дерево качественно разграничивает возможности (ветвь дерева «профилактика возгорания») и последствия (ветвь дерева «контроль за пожаром»). Выходные данные представлены одной или несколькими совокупностями стратегий пожарной безопасности, которые наглядно отвечают задачам.

**5.2.4 Балльная оценка рисков.** Системы балльной оценки пожарного риска являются эвристическими моделями пожарной безопасности. Они включают в себя различные процессы анализа и количественной оценки опасных факторов и других характеристик систем в целях осуществления быстрой и простой оценки относительного пожарного риска. Системы балльной оценки пожарного риска также носят название шкал оценки, методов выставления баллов, ранжирования, численной классификации и количественной оценки. На основе профессиональной оценки и накопленного опыта балльная оценка пожарного риска устанавливает значения для выбранных переменных, представляющих как положительные, так и отрицательные особенности пожарной безопасности. Затем выбранные переменные и предписанные значения обрабатываются с помощью некоего сочетания арифметических функций до получения единого значения, которое сравнивается с другими аналогичными оценками или стандартом. Вероятно, самым распространенным подходом по балльной оценке пожарного риска являются системы оценки пожарной безопасности в документе NFPA 101A «Руководство по альтернативным подходам к безопасности» [13].

**5.2.5 Матрица рисков.** Метод матрицы рисков был разработан в шестидесятые годы 20 века в качестве техники безопасности для военных систем и в настоящее время представлен в стандарте MIL-STD-882D «Стандартная практика по безопасности систем» [15]. В данном методе каждому опасному фактору присваивается степень вероятности и степень тяжести последствий. Таблицы 5.2.5 (а) и (б) представляют собой сокращенные варианты соответствующих таблиц стандарта MIL-STD-882D.

**Таблица 5.2.5 (а). Степени вероятности**

Вероятность	Описание
Часто	Вероятность частого возникновения события ( $p > 0,1$ )
Возможно	Вероятность возникновения события несколько раз в течение срока службы системы ( $p > 0,001$ )
Редко	Малая вероятность возникновения события в течение заданного срока эксплуатации системы ( $p > 10^{-6}$ )
Маловероятно	Вероятность возникновения события настолько мала, что допускается, что оно не произойдет ( $p < 10^{-6}$ )
Вероятность ничтожно мала	Вероятность возникновения события практически равна нулю ( $p \sim 0,0$ )

**Таблица 5.2.5 (б). Степени тяжести последствий**

Степень тяжести	Воздействие
Незначительная	Ущерб настолько мал, что он не оказывает ощутимого влияния на здание, его функционирование или на окружающую среду.
Допустимая	Зданию причинен несущественный ущерб, что приводит к необходимости временного частичного прекращения его функционирования. Для полного восстановления функционирования здания требуются незначительные финансовые вложения. Существует вероятность причинения незначительных травм людям. Вследствие пожара локально нанесен вред окружающей среде.
Критическая	Зданию причинен значительный ущерб, что приводит к необходимости полного прекращения его функционирования. Для полного восстановления функционирования здания требуются значительные финансовые вложения. Существует вероятность гибели людей и причинения значительных травм. Вследствие пожара нанесен значительный обратимый вред окружающей среде.
Катастрофическая	При пожаре наблюдаются единичные или многочисленные жертвы и травмы среди людей, или причинен катастрофический ущерб функционированию здания, что приводит к длительному или окончательному закрытию здания. После пожара здание немедленно прекращает функционирование. Вследствие пожара нанесен значительный необратимый вред окружающей среде.

Как показано на рис. 5.2.5, в матрице рисков используются степени вероятности и степени тяжести последствий, чтобы представить ось двумерной матрицы рисков. Матрица рисков демонстрирует, что опасные факторы, вероятность которых ничтожно мала, а последствия незначительны, представляют собой низкую степень риска, в то время как часто случающиеся опасные факторы с более тяжелыми последствиями представляют высокую степень риска.



**Рис. 5.2.5. Матрица рисков**

*Примечание.* Анализ «что если...?» является полностью качественным методом, так как в нем целенаправленно исключаются количественные расчеты. Дерево концепций пожарной безопасности представляет собой структурированный графический неколичественный подход. Балльная оценка пожарного риска представляет собой количественный метод, при котором специально не различается возможность и последствие, и производится количественный расчет относительного риска. Метод матрицы рисков является потенциально количественным, тем не менее, как правило, он основывается на субъективной шкале оценки возможности и последствия, которая не всегда связана с конкретными числовыми значениями.

### 5.3 Полуколичественные методы оценки возможностей

Полуколичественные методы оценки возможностей предназначены для расчета оценки возможностей сценария пожара, основанного на качественно определенной последовательности. В качестве примера можно привести оценку пожарного риска, при которой рассчитывается возможность возникновения события, например, вспышки или неконтролируемого пожара без расчета последствий. Вероятность неконтролируемого пожара рассчитывается на основе данных о возгорании, верном или неверном разделении на пожарные отсеки, информации о спринклерах, но в этом случае отсутствует подробный расчет ущерба от пожара.

**5.3.1 Тип и общие признаки метода.** Полуколичественные методы используют вероятностные статистические модели или статистические модели прогнозирования убытков и сетевые модели, включая модели автономного анализа методом дерева событий.

**5.3.1.1** Для поддержания выбранных сценариев пожара при функционально-ориентированном проектировании может быть предпринят статистический анализ. Статистические данные могут определять возможность и последствия различных сценариев пожара в данном типе здания. Эти данные могут указывать время суток или недели возникновения пожаров, что позволяет установить число людей, подверженных риску воздействия пожара. Сценарии пожара могут быть ограничены оценкой возможности и использоваться в качестве определяющего фактора при выборе соответствующих расчетных сценариев пожара.

Для анализа пожарного опыта в США доступны следующие объемные базы данных: Национальная система отчетности о пожарах (NFIRS) под руководством Пожарного управления при Федеральном агентстве по чрезвычайным ситуациям США (FEMA/USFA), база данных Организации по сбору данных о пожарах (FIDO) Национальной ассоциации по противопожарной защите (NFPA), а также Отчеты пожарных подразделений, изучаемые Национальной ассоциацией по противопожарной защите (NFPA). Важно отметить, что любые данные имеют специфические ограничения и погрешности, которые необходимо учитывать при выполнении анализа.

**5.3.1.2** Сетевая модель графически представляет пути, по которым протекает информация. Она представлена в виде связанных точек, или узлов, и соединительных линий, связывающих два узла (как правило, пересекая другие узлы) или пути.

**5.3.1.2.1** Дерево представляет собой особый тип сетевой модели, в которой только один путь соединяет два узла. Дерево событий, являющееся простейшей и одной из наиболее эффективных вероятностных моде-

лей, представляет собой модель последовательности вероятных состояний системы и соответствующих событий, ведущих к этим состояниям.

**5.3.1.2.2** Каждому пути предписывается вероятность, и предполагается, что события происходят независимо друг от друга, и вероятность по каждому пути умножаются для расчета вероятности последствий.

## **5.4 Полуколичественные методы оценки последствий**

Полуколичественные методы оценки последствий предназначены для качественной оценки возможности и расчета последствий. В качестве примера можно привести оценку пожарного риска, при которой рассчитывается возможность реализации заданного сценария пожара например, низкая, средняя или высокая вероятность, а также рассчитываются результаты или последствия данного сценария пожара.

**5.4.1 Типы и общие признаки метода.** В основе полуколичественного метода оценки последствий заложено применение детерминированных моделей пожаров в помещении для сложных сценариев пожара.

**5.4.1.1** Данные об убытках могут быть проанализированы для установления прогнозируемых переменных для убытков в будущем. Такие методы, как метод экстраполяции понесенных убытков, метод экстраполяции оплаченных убытков и метод «Страхования и понесенных, но не заявленных убытков», предложенный Борнхуэттером и Фергюсоном (Bornhuetter, Ferguson) могут использоваться для прогнозирования предельных убытков, при наступлении страхового случая. Результаты каждого метода часто усредняются для выявления предельных прогнозируемых убытков. Эти типы статистического анализа специальных данных убытков обеспечивают полуколичественные величины последствий при наступлении страхового случая.

Для анализа пожарного опыта в США доступны следующие объемные базы данных: Национальная система отчетности о пожарах (NFIRS) под руководством Пожарного управления при Федеральном агентстве по чрезвычайным ситуациям США (FEMA/USFA), база данных Организации по сбору данных о пожарах (FIDO) Национальной ассоциации по противопожарной защите (NFPA), а также Отчеты пожарных подразделений, изучаемые Национальной ассоциацией по противопожарной защите (NFPA). Важно отметить, что любые данные имеют специфические ограничения и погрешности, которые необходимо учитывать при выполнении анализа.

**5.4.1.2** Модели пожаров в помещении предназначены для прогнозирования взаимодействия сложных пожарных процессов, одновременно происходящих в помещении. Данные модели обеспечивают оценку отдельных событий, таких, как рост пожара, рост температуры, дымообразование и перемещение дыма. Применение модели к нескольким комнатам или к одной только комнате возникновения пожара представляет собой два разных подхода. Данные модели должны применяться с участием компьютера, поскольку они содержат множество математических выражений.

**5.4.2 Доступность, качество и пригодность методов.** Выделяются два общих класса моделей для компьютерного расчета развития пожара в помещении: вероятностный и детерминированный. Вероятностные модели, также известные как модели переходного состояния, используют математические правила и вероятности в течение ряда последовательных событий или состояний для оценки роста пожара. Детерминированные модели, также известные как модели пожаров в помещении, компьютерные модели пожаров или математические модели пожаров используют взаимосвязанные выражения, основанные на физических и химических свойствах для оценки дискретных изменений какого-либо физического параметра в контексте его воздействия на пожарную опасность.

**5.4.2.1** Выделяются два общих типа детерминированных моделей: зонные модели и полевые модели. Зонные модели, или модели контрольного объема, предназначены для решения уравнений сохранения для отдельных районов и представляют собой наиболее распространенный тип физически обоснованной пожарной модели. Полевые модели условно разделяют зону помещения на трехмерную сетку, состоящую из небольших кубиков, и рассчитывают физические условия при помощи основных уравнений массы, импульса и энергии в каждом кубике как функцию времени. Полевые модели позволяют пользователю выявить условия в любой точке помещения.

**5.4.2.2** Детерминированные модели пожара в помещении доступны в нескольких источниках. Зонные и полевые модели, такие как CFAST и FDS, бесплатно предоставляются в Министерстве торговли США, Национального института стандартов и технологий (NIST). Другие модели для помещений, такие как JASMINE предоставляются платно. На указанном сайте в сети Интернет приведен список доступных на данный момент моделей пожара: [www.firemodelsurvey.com](http://www.firemodelsurvey.com).

**5.4.3 Входные данные.** Входные данные для детерминированных моделей пожаров включают геометрию комнаты и здания, данные тепловыделения и горения, теплофизические свойства ограждающих поверхностей, показатели скорости образования продуктов горения, параметры вентиляции и окружающие или атмосферные условия.

**5.4.4 Допущения.** Для отдельных моделей часто могут быть свойственны ограничения. Также существуют ограничения для применения конкретных данных в качестве входных данных для модели. Соответственно, часто возникает необходимость делать допущения, с целью восполнить разрыв между ограничениями и целями моделирования.

**5.4.4.1** Детерминированные модели, используемые для прогнозирования поведения пожара в помещении, имеют ограничения во многих аспектах, включая подход к оценке геометрии помещения, внутренней отделки и средств пожаротушения. В основе моделей прогнозирования активации спринклерных систем лежит условие, согласно которому потолок должен быть гладким и плоским, что часто не соответствует условиям конкретных моделей. Модели не могут точно оценивать воздействие свойств внутренней отделки, как в отношении отдачи тепла ограничивающим поверхностям, так и в отношении того, насколько она способствует росту пожара. Воздействие активированной спринклерной системы в пожарном отсеке имеет сложный характер и



может быть смоделировано не сразу. Во всех случаях, важно учитывать ограничения каждой модели и оговаривать допущения, количественно или качественно, необходимые для соотнесения параметров анализа ограничений модели.

**5.4.4.2** Правильность данных имеет ключевое значение, как при вероятностном, так и при детерминированном моделировании. Часто специальных данных бывает недостаточно, чтобы удовлетворить требования анализа. В результате возникает необходимость делать допущения, чтобы получить необходимые входные данные для модели. Допущения в данных могут быть получены в результате применения методов интерполяции или экстраполяции других соответствующих данных или из других корреляционных методов. Такие допущения должны быть четко оговорены. Кроме того, такие допущения должны пройти проверку на оценку чувствительности и быть учтены в неопределенности анализа.

#### **5.4.5 Оценка надежности (зарезервировано).**

#### **5.4.6 Неопределенность.**

**5.4.6.1** Неопределенность моделей пожаров в помещении может быть представлена несколькими способами. Численная неопределенность, представленная в модели, включает допущения модели (такие, как отдельная двухслойная среда в зонных моделях), одну или несколько расчетных программ для модели и чувствительность отдельных переменных. Другая неопределенность может быть результатом допущений пользователя во входных данных и использования модели за пределами указанных ограничений валидации.

**5.4.6.2** Неопределенность, получаемая в методах статистического анализа, зависит от качества статистических данных. Необходимо рассматривать такие вопросы, как надежно ли были собраны и записаны данные, были ли они всеобъемлющими, и имело ли место влияние субъективной погрешности.

**5.4.7 Выходные данные.** Выходные данные моделей пожаров в помещении включают профили распределения температур, концентрации продуктов горения и плотность дыма. В зависимости от модели данные могут быть выражены численно и/или графически.

#### **5.4.8 Полнота, надежность и глубина моделей (резервный).**

**5.4.9 Валидация метода.** Большинство моделей пожаров в помещении разрабатываются в соответствии с диапазоном данных исследований пожаров. Хотя модели часто базируются на основных принципах химии и физики, они должны быть «подогнаны» к данным. Следовательно, важно учитывать, чтобы модель использовалась для анализа тех сценариев пожара, которые соответствуют диапазону данных используемых для разработки и валидации модели. Действующий диапазон данных, как правило, указывается в руководстве по эксплуатации модели.

#### **5.4.10 Требования заинтересованных лиц (резервный).**

### **5.5 Количественные методы**

Количественные методы представляют собой средства, используемые в процессе оценки пожарного риска, и количественно оценивающие последствия и возможности сценариев пожара. Они представляют собой методы оценки пожарного риска, предусмотренные в данном руководстве.

В течение срока службы здания могут происходить различные события, при этом вероятность возникновения некоторых из них выше, чем других. Некоторые события не всегда, но могут оказывать разрушительное воздействие на здание. Рациональный проект должен позволять достичь поставленных целей и задач при любом типовом или стандартном расчетном сценарии пожара, а также при нестандартных и потенциально разрушительных сценариях пожара до уровня, соответствующего ожиданиям общества.

**5.5.1 Типы и общие признаки методов.** Разумный выбор групп сценариев пожара позволяет управлять процессом оценки пожарного риска. При необходимости, соответствующие пары последствий-частоты могут быть проанализированы в качестве итоговой множественной количественной оценки пожарного риска (см. пункт 5.6). Как вариант, может быть принят критический уровень последствий, позволяющий упростить процесс оценки пожарного риска. Оценка будет являться одним из показателей превышения критического уровня отдельной группой сценариев пожара. Может быть произведена оценка частоты групп сценариев пожара, превышающих критический уровень. Сумма частот составит частоту, при которой определенная величина последствий будет превышена.

**5.5.1.1\* Выбор сценариев пожара.** Основная сложность в выборе сценариев пожара для анализа заключается в том, чтобы выделить поддающееся управлению количество разнообразных и показательных сценариев. Если проект окажется достаточно безопасным для этих сценариев пожара, то он должен быть безопасен и для других сценариев, кроме тех, которые специально исключаются, будучи нереально требовательными или крайне редкими, чтобы предоставить справедливую оценку проекта.

Приведем пример типового сценария пожара. В гостиной лампа соприкасается со шторой, в результате чего штора загорается. Датчик дыма отключен, и потому жители квартиры продолжают пребывать в состоянии сна. Горящая штора падает на стул, что приводит к распространению пламени. Скорость выделения тепла от стула повышает температуру в комнате настолько, что происходит вспышка. Закрытая дверь в спальню препятствует распространению дыма. От звука разбившегося стекла, жители квартиры просыпаются. Пожар и опасные условия в гостиной препятствуют эвакуации. Жители дома покидают квартиру по альтернативному пути эвакуации – через окно второго этажа над козырьком у входа в подъезд.

Приведем пример типовой группы сценариев пожара. В то время, пока жители дома спят, происходит возгорание. Датчик дыма не срабатывает и не активизирует пожарную сигнализацию. В комнате возгорание переходит на стадию вспышки, блокируя основной выход. Дверь в спальню закрыта, поэтому жители напрямую не подвержены воздействию пожара. Во время пожара жители просыпаются и покидают квартиру по альтернативному пути эвакуации.

Приведем пример типового критического уровня последствий. В результате пожара гибнет человек, который не находился в непосредственной близости от источника возгорания.

**5.5.1.2** В рамках отдельно взятой последовательности сценария пожара, риск представляет собой результат умножения последствий последовательности (то есть, ущерба,  $C_i$ ) на соответствующую частоту последовательности ( $F_i$ ). В рамках конструкции, сооружения или местности суммарный риск ( $R_t$ ) равен сумме отдельных рисков последовательности сценариев пожара и может быть представлен в виде следующего уравнения:

$$R_t = \sum_{i=1}^n C_i F_i$$

где,

$R_t$  = суммарный риск

$C_i$  = последствие последовательности

$F_i$  = частота последовательности

**5.5.1.3** В случае если выходные данные включают оценку нескольких типов рисков, например, предпринимательского и индивидуального риска, тогда множественные результаты могут быть представлены в виде следующего уравнения:

$$R_t = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ij} F_i$$

где,

$R_t$  = суммарный риск (множественные результаты)

$C_{ij}$  = множественный ущерб

$F_i$  = частота последовательности

**5.5.1.4** При прямой оценке риска, учет каждого сценария пожара, как правило, нецелесообразен, поскольку каждый сценарий пожара представляет ряд детальных событий, ведущих к паре последствий-частоты. С тем, чтобы сократить объем работ по анализу, отдельные сценарии, как правило, объединяются в группы сценариев пожара.

**5.5.2 Доступность, качество и применимость методов.** Метод количественного результата, как правило, ориентирован на задачу. Таким образом, принято использовать многоуровневые модели для разработки анализа: одну или несколько моделей для оценки последствий и дополнительную модель для оценки частоты. Ни одна система программного обеспечения не использует единый метод количественного результата оценки пожарного риска. И это неудивительно, поскольку такие системы программного обеспечения мгновенно предоставляют многоуровневые количественные результаты с тем же успехом, как если бы они рассчитывали единый результат.

**5.5.3 Входные данные (резервный).**

**5.5.4 Допущения (резервный).**

**5.5.5 Оценка надежности (резервный).**

**5.5.6 Неопределенность.** Метод количественного результата обеспечивает собственную структуру для количественной оценки неопределенностей. Разнообразные методы оценки неопределенности одного или нескольких результатов оценки пожарного риска, являющейся следствием неопределенности входных данных оценки пожарного риска, как правило, называемые методами «распространения неопределенностей» находятся в широком доступе.

В целях проведения оценки пожарного риска необходимо различать два типа неопределенностей: случайная неопределенность (также именуемая случайностью) и гносеологическая неопределенность (также именуемая неопределенностью моделирования или неопределенностью состояния знаний). Количественные методы предоставляют средства выявления и рассмотрения данных неопределенностей.

Случайная неопределенность включает, например, реагирование людей на событие. Гносеологическая неопределенность представляет погрешности в самих моделях. Лучше всего гносеологическая неопределенность характеризуется графически отсутствием стабильности результатов в моделях, которые должны прогнозировать одинаковое поведение.

С точки зрения разработчиков моделей, следует избегать точности моделирования большей, чем состояние знаний о неконтролируемых случайных входных данных. С точки зрения проверяющих специалистов, любые ограничения какого-либо типа неопределенности должны учитываться соответствующими допущениями или обсуждениями.

**5.5.7 Выходные данные (резервный).**

**5.5.8 Полнота, надежность и глубина моделей.** Полнота и надежность метода количественного результата зависит от выбранных специалистом по оценке пожарного риска наборов сценариев пожара. Слишком много пропущенных или не представленных соответствующим образом последовательностей сценариев пожара приводят к неконсервативной оценке. Таким образом, наборы последовательностей должны быть показаны для представления всех возможных результатов.

**5.5.9 Верификация.** Необходимо предоставить подтверждение полной валидации метода. Методы анализа, выбранные для подготовки оценок последствий и частоты, в значительной мере повлияют на выполне-

ние валидации. В контексте всеобщей методики, подход количественного результата является приемлемым. При правильном составлении, он дает результаты, которые точно представляют действительный пожарный риск.

#### **5.5.10 Требования заинтересованных лиц (резервный).**

### **5.6 Техничко-экономические методы оценки пожарного риска**

Техничко-экономические методы оценки пожарного риска не только обеспечивают оценку ожидаемого риска для жизни пользователей здания, но также дают оценку стоимости ожидаемого ущерба от пожара при конкретном противопожарном проектировании. Стоимость ущерба от пожара включает капитальные и эксплуатационные затраты на противопожарную защиту, а также ожидаемый ущерб от пожара, нанесенный конструкции и составу здания в результате предполагаемого распространения пожара в здании. Оценка ожидаемого риска для жизни и ожидаемой стоимости ущерба от пожара позволяет определить экономически эффективные методы противопожарного проектирования, обеспечивающие требуемый уровень безопасности при минимальной стоимости ущерба от пожара.

В данной части представлена основа для понимания и оценки технико-экономических методов оценки пожарного риска. В ней даны описания различных параметров методов, а также представлен контекст данных методов с точки зрения представителя надзорного органа и владельца здания.

Техничко-экономические методы оценки пожарного риска могут варьироваться от очень простых до достаточно сложных методов. Они предоставляют возможность дальнейшего расширения каждого из описанных ранее методов оценки пожарного риска. Определение затрат и/или выгод от различных решений, как правило, включается в оценку пожарного риска в качестве дополнительной или встроеной функции.

В настоящее время не сформировалось единого четкого мнения о надлежащем уровне или строгости оценки пожарного риска, которые являются допустимыми при проверке проектов противопожарной защиты. Отсутствие такого мнения представляет определенную проблему для всех сторон, заинтересованных в проекте (например, для владельца здания, проектировщика и представителя надзорного органа), а также для тех, кто желает использовать общепринятый метод анализа затрат и выгод от риска с точки зрения одного или нескольких проектных решений.

**5.6.1 Типы и общие признаки методов.** Техничко-экономический метод общей оценки пожарного риска привносит дополнительный параметр в оценку. Некоторые методы могут обеспечивать всесторонний анализ пожарного риска и минимальную оценку стоимости и экономических выгод. Другие могут обеспечивать детальную оценку стоимости отдельных вариантов при минимальной оценке воздействия вариантов на пожарный риск.

**5.6.1.1** Крайне важно, чтобы при любом технико-экономическом анализе оценки пожарного риска было четко определено какие факторы риска подвергаются анализу, проводится ли данный анализ для единичной или множественной системы и охватывает ли он один или множество сценариев пожара. Значимость каждого из этих параметров, а также детальность технико-экономического анализа должны быть определены для конкретного проекта или анализируемой задачи.

**5.6.1.2** Некоторые более сложные технико-экономические методы оценки пожарного риска позволяют сопоставлять альтернативные решения. Эти методы могут использоваться для определения сравнительных степеней риска и стоимости, связанной с этими альтернативами. Результаты позволяют специалистам-практикам сопоставлять альтернативные решения, как с точки зрения рисков, так и с точки зрения стоимости. Однако в данном подходе существует одно ограничение, которое заключается в определении уровня допустимого риска.

**5.6.1.3** Основная сложность, с которой сталкиваются специалисты-практики в сфере безопасности, заключается в том, что они берут текущие стандарты с установленной в них степенью безопасности и определяют объективные критерии, с которыми сопоставляется риск. Однако текущие стандарты могут иметь предписывающий характер и содержать малое указание относительно цели, которую они предназначены достигнуть, или не содержать его вовсе, или, что более важно, относительно того, что является допустимой степенью риска. Сложность усугубляется, когда ставится задача оценивать безопасность с точки зрения, более обширной, чем, например, один элемент здания или одна конкретная система безопасности.

**5.6.1.4** Один из подходов к разрешению сложности, описанной в пункте 5.6.1.3, заключается в сопоставлении альтернативных решений с базовым вариантом, таким как решение предписывающего стандарта или стандарта, принятого компетентным органом. Данный подход позволяет проводить сопоставление без необходимости принятия объективных критериев, что, в свою очередь, позволяет избежать некоторых сложных вопросов анализа риска, таких как определение цены человеческой жизни. Эти методы позволяют определить допустимо ли предлагаемое решение, поскольку они могут обеспечить объективную оценку пожарного риска в соотношении с текущим стандартом.

**5.6.2 Доступность, качество и применимость моделей.** Модели должны предоставлять область их применения, а также описание свойственных им ограничений. К примеру, модель может быть пригодна для многоквартирного жилого здания, но не пригодна для офисного здания и иметь ограничение по максимальному количеству этажей, которые могут быть рассчитаны.

**5.6.3 Входные данные.** Модели должны предоставлять информацию о необходимых входных данных. Желательно, чтобы компьютерная модель обладала графическим интерфейсом, ориентированным на пользователя. Во избежание ввода неправильных значений, модели должны запрашивать четко определенные данные, которые могут быть легко предоставлены пользователем. Например, количество воспламеняемых материалов в помещении может являться четко определенной вводной величиной, в то время как размер пожара

не может таковой являться. Пользователю не может быть известна величина размера пожара, поскольку рост пожара зависит от нескольких параметров. Если пользователь имеет дело с крупным пожаром, результаты его расчета будут отличаться от результатов расчета малого пожара. В таком случае количество горючих материалов может являться входной величиной, но рост пожара не должен таковой являться. Вместо этого, рост пожара должен моделироваться при помощи методов оценки пожарного риска, основываясь на количестве горючих материалов и других управляющих параметрах.

**5.6.4 Допущения.** Модели должны четко описывать содержащиеся в них допущения. Допущения помогают пользователю определить, можно ли использовать модель для конкретного применения.

**5.6.5 Оценка надежности.** Модели должны включать рассмотрение надежности систем противопожарной защиты. Они также должны включать эффективность систем противопожарной защиты в эксплуатации. Оценка надежности и эффективности является основной причиной существования оценки пожарного риска. Если бы системы пожарной защиты работали в течение 100 процентов времени, тогда не было бы необходимости в существовании оценки пожарного риска.

**5.6.6 Неопределенность.** Модели должны содержать описание неопределенности в значениях, принятых в данной модели. Проверки чувствительности должны быть выполнены, чтобы удостовериться, что неопределенность величин не представляет собой значительное отклонение в прогнозируемом результате.

**5.6.7 Выходные данные.** Выходные данные должны быть представлены в пригодной для пользователя форме. Они также должны быть представлены в форме, удобной для документирования.

**5.6.8 Полнота, надежность и глубина моделей (резервный).**

**5.6.9 Валидация метода.** Модели должны иметь документацию, в которой дается научное обоснование их методов моделирования и указывается, насколько точны их результаты прогнозирования.

**5.6.10 Требования заинтересованных лиц.**

**5.6.10.1 Требования представителей надзорных органов.** Требования представителей надзорных органов, как правило, включают следующее:

- (1) Надлежащая документация процесса оценки пожарного риска, простого или всестороннего
- (2) Надлежащая документация таких допущений, как пожарный сценарий, вероятность и надежность систем пожарной защиты
- (3) Надлежащая документация методов оценки последствий каждого пожарного сценария с указанием того, основываются ли они на субъективной системе балльной оценки или на средствах детерминированного моделирования

Как правило, представители надзорных органов осуществляют поиск вспомогательных средств оценки эквивалентности. В настоящее время в основном практикуется оценка эквивалентности, основанная на субъективном мнении представителя компетентного органа. Оценка эквивалентности является более эффективной при использовании технико-экономических методов оценки пожарного риска, основанных на допущении того, что характерный для данных норм уровень риска является допустимым.

**5.6.10.2 Требования владельцев зданий.** Требования владельцев зданий, как правило, включают следующее:

- (1) Экономически эффективные и гибкие проекты
- (2) Соображения эквивалентности, которые должны естественным образом привести к альтернативным экономически более эффективным проектам
- (3) Оценка стоимости, например, капитальных и эксплуатационных затрат на установленные системы пожарной защиты и вероятного ущерба от пожара
- (4) Подход эквивалентности, позволяющий избежать сложности присвоения ценности человеческой жизни

## 6. ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИИ

### 6.1 Общие положения

В данной главе приведены общие рекомендации для компетентных органов, касающиеся доступности информации (данных из литературных источников, электронных источников, технических рисунков и документации, а также данные, полученные при помощи автоматизированных вычислительных методов) по оценке пожарного риска. Данная информация может оказаться полезной для компетентных органов и использоваться ими для оценки пожарного риска. Данная глава делится на две части: одна часть включает вопросы общего характера, касающиеся всех методов, другая часть содержит вопросы, относящиеся к конкретным текущим методам.

### 6.2 Информация общего характера

Компетентный орган должен быть знаком со следующими информационными требованиями, касающимися всех методов, используемых в оценке пожарного риска: доступность данных, применение данных, неопределенность данных и требования автоматизированных систем. В документации оценки пожарного риска указывается причина, по которой те или иные источники данных пригодны для ввода в оценку пожарного риска.

**6.2.1 Доступность.** Компетентный орган должен быть осведомлен, доступны ли используемые данные для дальнейшей оценки компетентным органом и для возможных перерасчетов в связи дальнейшими изменениями в сооружении или его управлении.

**6.2.1.1 Государственные источники информации.** Данные, полученные из государственных источников, должны быть полностью подтверждены документально и снабжены ссылками на соответствующие документы в отчете о проекте или файле расчетов, связанных с анализом. Документация должна включать наименование публикации, имя (имена) автора (ов), номера страниц, таблиц или рисунков, наименование и почтовый адрес издательства или издательского агентства и дату публикации. В отчете или файле расчетов, снабженных ссылками, данные или информация должны соотноситься с соответствующими ссылками.

**6.2.1.2 Частные источники информации.** Данные, полученные из частных источников, должны быть полностью подтверждены документально и снабжены ссылками на соответствующие документы, как в случае с государственными источниками информации (пункт 6.2.1.1), и должны содержать имена отправителя и получателя данных, соответственно, а также форму, в которой они были переданы (письмо, электронный файл и т.д.). Если частные источники информации запатентованы, то в ссылке на них должно содержаться соответствующее примечание. Частные, непатентованные данные должны быть доступны через файл проекта или быть прослеживаемыми. Патентованные данные должны содержать контактную информацию отправителя и получателя данных.

**6.2.1.3 «Отсутствие» данных.** Данные, в которых используются предполагаемые или теоретические значения из-за отсутствия экспериментальных данных или данных наблюдений должны быть четко определены в отчете проекта и файлах расчетов.

**6.2.1.4 Организация ведения записей.** Отчет проекта и связанные с ним файлы расчетов должны содержать номер соответствующей версии или номер каталога (при необходимости) и должны быть датированы для обеспечения их прослеживаемости и воспроизводимости. Компетентный орган должен обеспечить доступность хранилища данных в целях дальнейшего анализа пожарного риска и управления изменениями. Записи должны храниться в соответствии с требованиями органов власти или до тех пор, когда они не перестанут представлять интерес или необходимость для оценки пожарного риска для всех заинтересованных лиц.

**6.2.1.5 Дополнительная информация.** Дополнительная информация (карты, процедуры, технические средства, руководства, разработчики и т.д.) должна храниться для последующего применения.

### 6.2.2 Применимость.

**6.2.2.1 Тип здания.** Анализ риска должен производиться в соответствии с анализируемым типом зданий. Данные для зданий больниц не должны использоваться для анализа риска жилых зданий, а информация для нефтеперерабатывающего завода неприменима для подсобно-складских сооружений. В некоторых случаях допустимо использование в большей степени ограничивающих и консервативных данных, предназначенных для других типов зданий, в случае если соответствующие данные недоступны. Отклонения такого рода должны быть документально подтверждены в анализе риска.

**6.2.2.2 Контекст.** Отдельные отрасли промышленности, например, коммерческая ядерная энергетика и некоторые государственные организации требуют высокого уровня документации, верификации, валидации и/или экспертной проверки. В таких случаях применимы более рестриктивные требования.

**6.2.2.3 Культурные и географические различия.** Информация может содержать культурные и географические различия. Например, анализ риска, допускающий низкую вероятность замерзания спринклерных систем пожаротушения, может быть более приемлем для умеренных климатических условий, чем для холодного климата. И наоборот, методы проверки, испытаний и технического обслуживания сухотрубных спринклерных систем могут быть недостаточно эффективными в тех же умеренных климатических условиях, где сухотрубные спринклерные системы встречаются довольно редко.

**6.2.2.3.1** Различия культурного характера могут быть продемонстрированы следующим примером. Некоторые отрасли промышленности могут обладать существенно более внимательным персоналом по проверке, испытаниям и техническому обслуживанию, что ведет к несоответствиям в частоте проведения проверок, испытаний и технического обслуживания. Следует ожидать, что тенденциозные данные проверок, испытаний и

технического обслуживания с персоналом, обеспечивающим специализированные услуги, и существенными расходами на проверки, испытания и техническое обслуживание, будут закономерно выявлять гораздо меньше нарушений, чем данные в отраслях промышленности, не обладающих таким финансированием и ресурсами. Обусловленные отраслью промышленности тенденциозные данные допустимы не во всех случаях, когда отклонения культурного характера могут воздействовать на информацию.

**6.2.2.3.2** Другим примером культурных различий могут послужить данные об ущербе от пожаров в США. Уровень пожарной безопасности, предусмотренный в Соединенных Штатах, может значительно отличаться от уровня пожарной безопасности других стран, таким образом, данные об ущербе от пожаров в США могут быть неприменимы к этим странам. Это несоответствие может быть частично обусловлено различными уровнями внимания к вопросам противопожарной защиты на культурном уровне.

**6.2.2.4 Источники нормативно-справочных данных.** Данные, используемые в оценках пожарного риска, при необходимости должны быть снабжены ссылками. Распространенные источники данных могут не подвергаться анализу, если они являются общедоступными. Отчеты и публикации, перепечатанные в независимых изданиях, должны быть предоставлены в полном объеме в приложении к анализу.

**6.2.2.5 Качественный и экспериментальный контекст.** Данные, используемые в качестве вводных данных для анализа, должны быть пересмотрены на наличие статистической значимости, утвержденных компонентов и критериев успеха или отказа. При применении экспериментальных данных, порядок эксперимента должен быть сопоставлен со всеми остальными критериями, приведенными в пункте 6.2.2 в соответствии с анализом риска.

**6.2.2.6 Административные и квалификационные требования.** Все анализы риска имеют административные и квалификационные требования к специалистам по оценке пожарного риска, включая технические и организационные требования. Специалисты по оценке пожарного риска должны иметь соответствующую квалификацию в своей области, а анализы должны проводиться в организованном порядке. Требования других разделов данного документа дают общие сведения об организационных принципах анализа и пригодных вводных данных. Более подробная информация содержится в главе 7.

**6.2.2.7 Критерии оценки целевой функции.** Анализ риска должен включать надлежащую оценку последствий для соответствующего применения. В отношении изолированного телекоммуникационного сооружения последствия для безопасности жизнедеятельности применимы не в такой значимой степени, как бесперебойность передачи данных, в то время как последствия для безопасности жизнедеятельности могут иметь преимущественное значение в общественном учреждении. Другие группы последствий включают, помимо прочего, последствия для критериев собственности, последствия для затрат и последствия воздействия на окружающую среду.

**6.2.3 Неопределенность и неустойчивость.** Хотя данные большей частью необходимы для того, чтобы помогать в оценке пожарного риска, различные аспекты данных способствуют неопределенности. При сопоставлении данных и другой вспомогательной информации следует обратиться к приведенной ниже информации.

**6.2.3.1 Допущения сценария пожара.** Частота или вероятность события могут зависеть от соответствующего сценария пожара. Следовательно, специалист по оценке пожарного риска должен четко определить сценарий пожара, на котором основываются эти данные. Особое значение имеет конечная точка сценария пожара. Например, в данных о пожарах, о которых поступают сообщения, как правило, приводится заниженная вероятность или частота возгорания. Выводы, основанные на сценариях пожаров, отличающихся от сценариев пожаров, представляющих интерес, могут оказаться приемлемыми, однако при условии, что специалист по оценке пожарного риска определит и подтвердит отличия, и будет выполнена соответствующая корректировка данных. Однако точность скорректированных данных, как правило, значительно уступает точности нескорректированных данных, поскольку они подвержены погрешностям, как в самих данных, так и в корректировке.

**6.2.3.2 Вопросы совокупности событий.** Необходимо выявить совокупность событий, на которой основываются данные, а также определить и понять принципы любой статистической обработки данных. Если данные основаны на шаблоне, то необходимо определить размер шаблона и размер совокупности событий, чтобы установить границы статистической погрешности. Такую же информацию необходимо предоставить для данных, которые сами были экстраполированы из шаблонов. Если совокупность событий, при помощи которой были получены данные, в значительной степени отличается от предмета анализа, может потребоваться дополнительная коррекция данных.

Причины отличий совокупностей событий могут быть следующими:

- (1) Возраст оборудования (среднее значение для совокупности, медиана совокупности, мода совокупности)
- (2) Производитель и модель оборудования
- (3) Материалы, при необходимости
- (4) Качество воды, при необходимости

**6.2.3.3 Погрешности.** Данные могут иметь различную погрешность часто незначительного характера. Данные страховых компаний, например, как правило, цензируются слева, поскольку в них учитываются только происшествия, на сумму, превышающую удержания страхователя. В целом, степень вероятности оповещения о происшествии прямо пропорциональна степени тяжести последствий происшествия. Сообщения о случаях, граничащих с происшествиями, менее вероятны, чем сообщения о случаях, ставших причиной происшествия. Поэтому, если число событий используется в качестве частоты испытания системы, то может потребоваться его корректировка. Данные производителя, как правило, отражают только продукцию производителя и могут отражать только неисправности, которые выявляются в течение гарантийного срока.

**6.2.3.4 Время и дата сбора данных/целевой временной интервал.** Интервал, с которым происходит сбор данных, может повлиять на качество данных. Если сбор данных производится в течение слишком короткого периода времени, то могут быть полностью не рассмотрены сезонные изменения. Если сбор данных производится со слишком длительным промежутком времени, то наличие постоянных условий становится маловероятным. Технологий технического обслуживания и старение будут напрямую влиять на совокупность событий.

**6.2.3.5 Исторический контекст.** Совокупность событий может косвенно зависеть от различных факторов. Изменения в законодательных актах, в особенности, требования к сообщениям о происшествиях, могут напрямую повлиять на признаки совокупности событий и возможность сообщения о происшествиях. Изменения в собственности и другие изменения, оказывающие влияние на окружающую культурную среду во время сбора данных, также может напрямую повлиять на совокупность событий и качество сбора информации. Изменения в стандартной практике могут повлиять на последствия событий. Например, управление движением материальных запасов по принципу «точно вовремя» может снизить прямое воздействие пожара, однако увеличить последствия прерывания деловой деятельности.

**6.2.3.6 Численные данные (дискретные данные, диапазон неопределенности).** Схема эксперимента, то есть, основаны ли данные на эксперименте или собраны при непосредственной практике, может повлиять на характер данных. Данные, собранные дискретно могут отличаться от данных, собранных в диапазонах.

**6.2.3.7 Общественная значимость.** Воспринимаемая значимость данных должна влиять на их точность. Это очевидно в случае с кривой частоты против числа, но может быть едва заметно в случае с травмами или случаями, граничащими с происшествиями. Более вероятно, что подсчет случаев заболевания раком, ведется в близости от сооружений, считающихся более опасными.

**6.2.4 Требования автоматизированных систем.** Характеристики программного обеспечения и технических средств должны быть полностью предоставлены экспертом по пожарному риску для оценки компетентному органу.

**6.2.4.1 Записанные или электронные данные.** Описания входных и выходных данных программного обеспечения должны быть полностью предоставлены при помощи номеров дела, номеров запуска, имени переменной, единиц и любых скалярных величин. Входные и выходные данные потоковых шаблонов должны быть предоставлены, при наличии гарантии, для дальнейшего разъяснения входных и выходных данных моделей. Все входные и выходные данные программного обеспечения, используемые в анализе пожарного риска должны храниться экспертом по оценке пожарного риска в целях организации ведения записей.

**6.2.4.2 Вычислительные модели.** Полная характеристика компьютерных программ, используемых экспертом по пожарному риску, должна включать: наименование разработчика, входные/выходные формы данных, версию программного обеспечения, требования к базовым аппаратным средствам, наименование операционной системы и ее версию и информацию о том, обеспечил ли разработчик средства валидации и верификации в целях управления качеством. Также должны быть указаны наименование программного обеспечения и имя и адрес разработчика программного обеспечения.

**6.2.4.3 Верификация.** Верификация анализа должна включать все элементы анализа.

**6.2.4.4 Валидация.** Валидация анализа должна сопоставлять результаты с реальными жизненными условиями, чтобы убедиться, что она включает все критерии допустимости.

## **6.3 Вопросы, обусловленные методом**

**6.3.1 Анализ «что если...?».** Для анализа «что если...?» запрашивается описательный материал о сооружении, его опасных факторах и методах противопожарной защиты с целью выявления каждого нарушения или случая отказа, используя вопросительную форму «что если?». Опыт противопожарной защиты и аналитические навыки команды, проводящей анализ, будут иметь решающее значение для эффективности анализа возможных вариантов.

**6.3.2 Контрольные списки.** Критерии допустимости должны быть определены и доступны компетентным органам для всех контрольных списков. Результаты контрольных списков должны храниться экспертом по оценке пожарного риска в целях организации ведения записей. Опасные факторы, не вошедшие в контрольный список, должны быть доступны для ознакомления. Подход контрольных списков не пригоден для выявления таких типов опасных факторов, как множественные отказы и производственные вопросы. Эксперт по оценке пожарного риска, использующий контрольный список, результаты которого не вполне убедительны, должен снабдить его пояснением и анализом влияний результатов на риск.

**6.3.3 Сценарии пожара дерева решений пожарной безопасности.** Сценарии пожара или отклонения, выявленные экспертом по оценке пожарного риска, заимствованные из стандарта NFPA 550 «Руководство по дереву концепций пожарной безопасности» [12], должны быть внесены в файл расчетов отчета о проекте. Если с элементами связаны вероятности или отклонения, то эти вероятности должны быть внесены в сценарий пожара.

### **6.3.4 Полуколичественный анализ последствий.**

**6.3.4.1 Масштаб.** Масштаб, используемый в полуколичественном анализе (таком, как матрица рисков) должен обеспечивать достаточно хорошее разрешение для осуществления оценки задачи пожарного риска.

**6.3.4.2 Крайне тяжелые последствия.** В случае если для событий, влекущих за собой крайне тяжелые последствия, используется специальная градация, ее шкала должна быть четко определена.

### **6.3.5 Полуколичественная оценка возможностей.**

**6.3.5.1 Масштаб.** Масштаб, используемый в полуколичественном анализе (таком, как матрица рисков) должен обеспечивать достаточно хорошее разрешение для осуществления оценки задачи пожарного риска.

**6.3.5.2 Маловероятные события.** Маловероятные события и события, вероятность которых ничтожно мала, не должны приравниваться нулю, вместо этого, они должны быть отнесены к колонке самой малой вероятности при анализе пожарного риска.

#### **6.3.6 Оценка риска.**

**6.3.6.1 Масштаб.** Масштаб, используемый в полуколичественном анализе (таком, как матрица рисков) должен обеспечивать достаточно хорошее разрешение для осуществления оценки задачи пожарного риска.

**6.3.6.2 События с низкой степенью риска.** События, с низкой и ничтожно малой степенью риска, не должны приравниваться нулю, вместо этого, они должны быть отнесены к колонке с самой низкой степенью риска.

**6.3.6.3 Крайне высокая степень риска.** В случае если для событий с крайне высокой степенью риска используется специальная градация, ее шкала должна быть четко определена.

#### **6.3.7 Техничко-экономический подход.**

**6.3.7.1 Стоимость противопожарной защиты.** Стоимость должна включать капитальные и эксплуатационные затраты. В капитальные затраты входят затраты на проектирование и установку активных и пассивных систем и мер противопожарной защиты. К эксплуатационным затратам относятся стоимость технического обслуживания, обучения, проверки, испытания и программ профилактики пожарной безопасности в течение расчетного срока службы здания или сооружения.

**6.3.7.2 Стоимость ожидаемого ущерба от пожара.** Стоимость прогнозируемого ущерба от пожара является результатом вероятного ущерба от пожара и дыма, который может быть нанесен объектам, приведенным в пункте 4.4.2.1, в течение расчетного срока службы здания или сооружения:

**6.3.7.3 Техничко-экономический анализ.** Стоимость представляет собой общее текущее значение пожарной безопасности и прогнозируемого ущерба от пожара. Выгода является сокращением убытков от пожара. Техничко-экономический анализ должен быть нацелен на достижение конкретного допустимого пожарного риска при минимальных затратах.



## 7. ДОКУМЕНТАЦИЯ

### 7.1 Общие положения

**7.1.1** В данной главе указана информация, которая должна быть представлена в документации по оценке пожарного риска. В целях соответствия задачам документации по оценке пожарного риска допускается подготовка нескольких документов.

**7.1.2** В документации должны быть представлены: краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты, документация по анализу пожарного риска, а также руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию.

### 7.2 Отчет о концепции оценки пожарного риска

**7.2.1 Цель отчета о концепции оценки пожарного риска.** Целью составления отчета о концепции оценки пожарного риска является содействие в согласовании подхода, предлагаемого для оценки пожарного риска.

#### 7.2.2 Содержание отчета.

**7.2.2.1 Документальная регистрация участников проекта.** В отчете о концепции оценки пожарного риска должен быть представлен список всех заинтересованных лиц, участвующих в подготовке оценки риска с указанием их квалификационных характеристик, таких как образование, предыдущий опыт в оценке пожарного риска, а также регистрация как специалистов (см. раздел 4.2).

Заинтересованными лицами являются люди, которых интересует анализ риска. В анализе риска могут быть задействованы разные лица, каждое из которых может иметь свою точку зрения на анализ риска. К возможным задействованным в анализе риска лицам относятся: специалисты по оценке пожарного риска, владельцы и управляющие зданием или сооружением, компетентные органы, арендаторы, эксплуатационный персонал здания, персонал аварийно-спасательных служб, страховые агенты, а также застройщики.

**7.2.2.2 Определение содержания проекта.** В документации должна быть представлена информация о содержании проекта (см. раздел 4.4). Содержанием проекта является определение ограничений по анализу риска, а также цели проведения анализа риска. Ограничениями по анализу риска могут быть: здание, часть здания, отдельные компоненты или части оборудования, или процессы. Целью может являться определение уровня риска, характерного для существующего здания или сооружения, методов снижения уровня риска в существующем здании или сооружении, а также определение методов обеспечения допустимого уровня риска в новом или реконструированном здании или сооружении.

**7.2.2.3 Задачи проекта.** Необходимо четко сформулировать задачи пожарной безопасности. Задачи оценки пожарного риска могут быть связаны с риском для жизни (пользователей здания или пожарных), риском для имущества, риском для производства или риском для окружающей среды (см. п. 4.4.2). Как правило, задачи выражаются в качественных показателях, и должны быть изложены в доступной для неспециалистов форме.

**7.2.2.4 Критерии допустимости.** Необходимо документально зарегистрировать критерии допустимости, предлагаемые для использования при оценке допустимого уровня риска (см. п. 4.4.3). Документирование допущений, сделанных в целях достижения надлежащего уровня функционирования, гарантирует выявление будущих изменений. Данные изменения, которые могут случайно изменить основные элементы или характеристики здания, крайне важные для предполагаемого функционирования здания или его систем, такие как изменения установленных процедур технического обслуживания, необходимо учитывать в целях поддержания уровня безопасности до внесения опасных изменений.

**7.2.2.5 Опасные факторы.** Оценка риска основывается на совокупности вероятных для реализации опасных факторов. Предполагаемые опасные факторы должны быть представлены в отчете о концепции оценки пожарного риска.

**7.2.2.6 Предлагаемые для использования в анализе риска сценарии.** Необходимо документально зарегистрировать все сценарии или группы сценариев, предлагаемые для использования в анализе риска. В случае объединения сходных сценариев в группы, необходимо представить в документации основания для объединения в группы. В документации должен быть указан метод определения показательных сценариев или групп сценариев для всех сценариев, которые могут быть реализованы в здании или сооружении. Необходимо документально зарегистрировать типы не рассматриваемых сценариев, например, по причине нереалистичной тяжести последствий или малой вероятности возникновения такой ситуации, с указанием основания для исключения.

**7.2.2.7 Используемый метод анализа риска.** Необходимо документально зарегистрировать предлагаемый для использования метод проведения анализа пожарного риска. В документации должно быть представлено обоснование соответствия метода анализу пожарного риска (см. п. 4.4.4).

**7.2.2.8 Источники данных.** Следует предоставить данные, ссылки на источники данных, а также допущения с обоснованиями (см. п. 4.4.5).

### 7.3 Полная проектная документация

**7.3.1** Полная проектная документация представляет собой полную документацию по оценке пожарного риска, включая документацию с описанием процесса оценки риска в дополнение к документации с результатами оценки пожарного риска. Большую часть полной проектной документации составляет отчет о концепции

оценки пожарного риска, уточненный в целях определения результатов, полученных в ходе проведения оценки риска.

**7.3.2 Отчет о концепции оценки пожарного риска.** Полная проектная документация должна включать информацию, содержащуюся в отчете о концепции оценки пожарного риска, уточненную в целях отражения внесенных изменений.

**7.3.3 Изменение состава документации в зависимости от применяемого метода анализа.** Состав проектной документации меняется в зависимости от применяемого метода анализа. В данном разделе определяются элементы, которые должны быть представлены в проектной документации для каждого из методов, указанных в п. 5.1.2.

#### **7.3.3.1 Качественные методы.**

**7.3.3.1.1 Результаты.** Результаты качественного метода выражаются качественными показателями, например, таблицы результатов или относительные возможности и последствия сценариев пожара, а также воздействие на них систем противопожарной защиты. Необходимо предоставить результаты о последствиях и возможностях для одного или более сценариев.

**7.3.3.1.2 Ограничения.** Необходимо предоставить ограничения по анализу пожарного риска. Ограничение по данному методу состоит в том, что результаты подходят только для ранжирования или сравнения рисков. В большинстве случаев качественные методы не рассматривают общий риск, что также является ограничением.

**7.3.3.1.3 Выводы.** Необходимо представить итоговые данные по результатам оценки пожарного риска включая, если применимо, сравнение достоверных и недостоверных пороговых значений. Следует указывать степень соответствия оценки пожарного риска целям и задачам, наряду с информацией о соответствии и полноте результатов поставленной цели.

**7.3.3.1.4 Ссылки.** Необходимо определить источники входных данных, а также проверить их на предмет соответствия оценке пожарного риска. Примеры ссылок могут включать чертежи, отчеты, руководства, публикации, нормы и стандарты. Также следует указывать номер или год издания, если таковые имеются.

#### **7.3.3.2 Полуколичественные модели оценки возможностей.**

**7.3.3.2.1 Результаты.** В связи с тем, что полуколичественные модели оценки возможностей рассчитывают возможность сценария пожара на основе качественно определенной последовательности, полученные результаты выражают вероятность реализации типа сценария в течение определенного периода времени.

**7.3.3.2.2 Ограничения.** Необходимо предоставить ограничения по анализу пожарного риска. Ограничение по данному методу состоит в том, что он представляет численную оценку вероятности реализации сценария с указанием только качественных показателей последствий реализации сценария. В большинстве случаев полуколичественные модели оценки возможностей не рассматривают общий риск, что также является ограничением.

**7.3.3.2.3 Выводы.** Необходимо представить итоговые данные по результатам оценки пожарного риска включая, если применимо, сравнение достоверных и недостоверных пороговых значений. Следует указывать степень соответствия оценки пожарного риска целям и задачам, наряду с информацией о соответствии и полноте результатов поставленной цели.

**7.3.3.2.4 Ссылки.** Необходимо определить источники входных данных, а также проверить их на предмет соответствия оценке пожарного риска. Примеры ссылок могут включать чертежи, отчеты, руководства, публикации, нормы и стандарты. Также следует указывать номер или год издания, если таковые имеются.

#### **7.3.3.3 Полуколичественные модели оценки последствий.**

**7.3.3.3.1 Результаты.** Полуколичественные модели оценки последствий представляют качественную оценку вероятности реализации сценария с количественным прогнозированием последствий. Наиболее распространенным вариантом являются результаты расчета модели пожара, объединенные с оценкой реализации события.

**7.3.3.3.2 Анализ неопределенности.** В документации должны быть указаны возможные источники неопределенности в прогнозах последствий, а также методы их рассмотрения.

**7.3.3.3.3 Оценка программного обеспечения и модели.** В документации необходимо представить обоснование соответствия используемых моделей моделируемой ситуации.

**7.3.3.3.4 Ограничения.** Необходимо предоставить ограничения по анализу пожарного риска. Ограничение по данному методу состоит в том, что он представляет количественную оценку последствий сценария только при качественной оценке вероятности реализации сценария. Полуколичественные модели оценки последствий не рассматривают общий риск, что также является ограничением.

**7.3.3.3.5 Выводы.** Необходимо представить итоговые данные по результатам оценки пожарного риска включая, если применимо, сравнение достоверных и недостоверных пороговых значений. Следует указывать степень соответствия оценки пожарного риска целям и задачам, наряду с информацией о соответствии и полноте результатов поставленной цели.

**7.3.3.3.6 Ссылки.** Необходимо определить источники входных данных, а также проверить их на предмет соответствия оценке пожарного риска. Примеры ссылок могут включать чертежи, отчеты, руководства, публикации, нормы и стандарты. Также следует указывать номер или год издания, если таковые имеются.

#### **7.3.3.4 Количественные модели.**

**7.3.3.4.1 Результаты частотного и/или вероятностного анализа.** В документации должны быть представлены результаты частотного и/или вероятностного анализа. Для каждого определенного сценария или группы сценариев необходимо документально зарегистрировать связанные с ними вероятности или час-

тоты. В случае использования вероятностей необходимо определить связанный с вероятностью выделенный интервал времени.

**7.3.3.4.2 Результаты анализа последствий.** Необходимо документально зарегистрировать результаты анализа последствий для каждого сценария или группы сценариев. В случае использования группы сценариев в документации должен указываться метод определения показателя для данной группы сценариев последствий.

**7.3.3.4.3 Расчетный риск.** Необходимо документально зарегистрировать расчетный риск. Данный расчетный риск должен представлять итоговые данные о вероятностях/частоте и последствиях для каждого сценария или группы сценариев. В документации также должно быть представлено обоснование специалиста по оценке пожарного риска того, что используемые сценарии или группы сценариев являются характерными для диапазона вероятных сценариев.

**7.3.3.4.4 Анализ неопределенности.** В документации должны быть указаны возможные источники неопределенности в прогнозах вероятностей, частот и последствий, а также методы их рассмотрения.

**7.3.3.4.5 Оценка программного обеспечения и модели.** В документации необходимо представить обоснование соответствия используемых моделей моделируемой ситуации.

**7.3.3.4.6 Ограничения.** Необходимо указывать все ограничения по анализу. Ограничения могут появляться в зависимости от используемых в анализе моделей или содержания анализа.

**7.3.3.4.7 Выводы.** Необходимо представить итоговые данные по результатам оценки пожарного риска включая, если применимо, сравнение достоверных и недостоверных пороговых значений. Следует указывать степень соответствия оценки пожарного риска целям и задачам, наряду с информацией о соответствии и полноте результатов поставленной цели.

**7.3.3.4.8 Ссылки.** Необходимо определить источники входных данных, а также проверить их на предмет соответствия оценке пожарного риска. Примеры ссылок могут включать чертежи, отчеты, руководства, публикации, нормы и стандарты. Также следует указывать номер или год издания, если таковые имеются.

#### **7.3.3.5 Техничко-экономические методы оценки пожарного риска.**

**7.3.3.5.1 Результаты частотного и/или вероятностного анализа.** В документации должны быть представлены результаты частотного и/или вероятностного анализа. Для каждого определенного сценария или группы сценариев необходимо документально зарегистрировать связанные с ними вероятности или частоты. В случае использования вероятностей необходимо определить связанный с вероятностью выделенный интервал времени.

**7.3.3.5.2 Результаты анализа последствий.** Необходимо документально зарегистрировать результаты анализа последствий для каждого сценария или группы сценариев. В случае использования группы сценариев в документации должен указываться метод определения показателя для данной группы сценариев последствий.

**7.3.3.5.3 Результаты анализа затрат.** Необходимо документально зарегистрировать результаты анализа затрат. В документации должен указываться метод анализа затрат для определенных последствий и предусмотренных мер противопожарной защиты.

**7.3.3.5.4 Расчетный риск.** Необходимо документально зарегистрировать расчетный риск. Данный расчетный риск должен представлять итоговые данные о вероятностях/частоте и последствиях для каждого сценария или группы сценариев. В документации также должно быть представлено обоснование специалиста по оценке пожарного риска того, что используемые сценарии или группы сценариев являются характерными для диапазона вероятных сценариев.

**7.3.3.5.5 Анализ неопределенности.** В документации должны быть указаны возможные источники неопределенности в прогнозах вероятностей, частот, последствий и затрат, а также методы их рассмотрения.

**7.3.3.5.6 Оценка программного обеспечения и модели.** В документации необходимо представить обоснование соответствия используемых моделей моделируемой ситуации.

**7.3.3.5.7 Ограничения.** Необходимо указывать все ограничения анализа. Ограничения могут появляться в зависимости от используемых в анализе моделей или содержания анализа.

**7.3.3.5.8 Выводы.** Необходимо представить итоговые данные по результатам оценки пожарного риска включая, если применимо, сравнение достоверных и недостоверных пороговых значений. Следует указывать степень соответствия оценки пожарного риска целям и задачам, наряду с информацией о соответствии и полноте результатов поставленной цели.

**7.3.3.5.9 Ссылки.** Необходимо определить источники входных данных, а также проверить их на предмет соответствия оценке пожарного риска. Примеры ссылок могут включать чертежи, отчеты, руководства, публикации, нормы и стандарты. Также следует указывать номер или год издания, если таковые имеются.

### **7.4 Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию**

**7.4.1 Цель.** Целью руководства по эксплуатации и техническому обслуживанию является определение обязательных условий, которые должны соблюдаться в целях принятия обоснованных решений в процессе оценки пожарного риска. К данным условиям могут относиться ограничения по применению или проверке, испытаниям, а также требования технического обслуживания. В целом, руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию предназначено для владельцев зданий, управляющих, арендаторов или исполняющих данные обязанности лиц.

#### **7.4.2 Перечень ограничений и допущений.**

**7.4.2.1** В целях экономии времени, финансов и/или упрощения, как правило, используются упрощенные инженерные методы и модели, применяемые для моделирования функционирования системы или оценки пожарного риска. Данные упрощения содержат ограничения, и следует точно указывать допущения.

**7.4.2.2** Необходимо представить описание методов контроля (административных программ и особенностей проекта), используемых в целях защиты ограничений и допущений (см. п. 7.4.3).

**7.4.2.3** В целях гарантирования того, что при функционировании здания не происходит случайного нарушения ограничений и допущений оценки пожарного риска в ходе нормального и аварийного режима работы, необходимо учитывать следующие факторы:

- (1) Технические условия, документацию по материально-техническому снабжению, приоритетность работ, график замены оборудования, неточность анализа эквивалентности, инструментальную погрешность контроля за ходом процессов, порядок расчета электрических отказов, график замены плавких предохранителей и т.д.
- (2) Режимы работы (нормальный и аварийный), доступность систем связи, реагирование местных служб на чрезвычайную ситуацию, план действий в чрезвычайной ситуации и подготовку персонала
- (3) Порядок маркировки и хранения, управление материально-производственными запасами, порядок упаковки и распаковки, контроль материального обеспечения, а также контроль и использование транспортных средств
- (4) Эксплуатацию, контроль работ, связанных с применением пламени, практику контроля за горючими и воспламеняющимися материалами
- (5) Программы профессиональной подготовки
- (6) Проектирование, надежность, техническое обслуживание, испытания систем, а также управление конфигурацией систем

#### **7.4.3 Программа организации внесения изменений.**

**7.4.3.1** Организации и процессы находятся в непрерывном развитии. К изменяемым элементам относятся:

- (1) Изменение знаний
- (2) Моральное устаревание продукции
- (3) Изменение состава трудовых ресурсов и качества
- (4) Изменение характеристик и качества продукции вследствие развития процесса интернализации
- (5) Формальные организационные изменения, приводящие к изменению функциональной эффективности, и преобразованию порядка взаимодействия подразделений
- (6) Изменение юрисдикционных критериев

**7.4.3.2** Как правило, оценка пожарного риска считается достоверной при строго ограниченном наборе условий в зависимости от используемых входных данных. Изменение условий, таких как конструкция, геометрия, оборудование здания и процессы, может привести к недостоверным результатам оценки пожарного риска. Следовательно, необходимо предоставить документацию с указанием набора условий, при которых оценка пожарного риска считается достоверной, а также указанием типов изменений условий, при которых требуется проведение новой оценки пожарного риска. В случае необходимости гарантирования того, что риск является допустимым, в руководстве по эксплуатации и техническому обслуживанию или аналогичном документе следует документально зарегистрировать методы контроля за внесением изменений, такие как проведение периодических проверок.

**7.4.3.3** Во избежание случайного изменения установленного риска необходимо рассмотреть внедрение следующих методов контроля:

- (1) Обучение владельца и управляющего зданием определению внесения изменений в оценку пожарного риска и пониманию влияния данных изменений на оценку пожарного риска.
- (2) Составление примечаний с пояснениями для процедур и программ в целях укрепления источника ограничений или элемента основы, позволяющих изменять этапы выполняемого процесса.
- (3) Формализацию процесса внесения изменений с учетом привлечения соответствующих структур в процесс оценки воздействия на сооружение/программу, включая риск (например, привлечение соответствующих специалистов).
- (4) Опытные программы, применяемые перед непосредственным внесением изменений, должны иметь расширенные возможности оценки общего влияния вносимых изменений.
- (5) Проверку процессов и программ в целях обеспечения постоянной поддержки элементов, таких как оценка пожарного риска.

**7.4.3.4** В связи с тем, что в оценке пожарного риска невозможно учесть все изменения, специалист по оценке пожарного риска в обязательном порядке должен включать в действующие технологические процессы и программы допущения, ограничения и заключения в целях обеспечения адекватного понимания меняющихся основных свойств.

#### **7.4.4 Программы проверки, испытаний и технического обслуживания.**

**7.4.4.1** Необходимо документально зарегистрировать требования к проверке, испытаниям и техническому обслуживанию, которые лежат в основе оценки пожарного риска.

**7.4.4.2** Программы технического обслуживания, испытаний и проверок влияют на работоспособность и доступность систем, компонентов и конструкций.

**7.4.4.3** Условия технического обслуживания, испытаний и проверки влияют на статистику и частоту отказов и доступность.

**7.4.4.4** При неправильном техническом обслуживании оборудования достаточно сложно определить частоту отказов.

## **7.5 Контроль соблюдения требований**

**7.5.1** В оценке пожарного риска должны быть определены методы контроля за соблюдением требований, которые должны реализовываться в целях обеспечения надлежащего выполнения административных и инженерно-технических требований.

**7.5.2** Методы контроля могут быть основаны на нормативных требованиях к типам зданий и проведению проверок.

**7.5.3** В оценке пожарного риска необходимо указывать санкции за несоблюдение нормативных требований.

**7.5.4** В случае обнаружения недостатков работы установленных систем, таких как повторное срабатывание или непрогнозируемое поведение оборудования, требуется уточнение оценки пожарного риска. В оценке пожарного риска должны быть предусмотрены методы учета таких недостатков.

## 8. МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

### 8.1 Методы технической проверки

Существует два возможных метода проверки достоверности оценки пожарного риска, которые может использовать компетентный орган: непосредственная проверка и проверка третьими лицами.

**8.1.1 Непосредственная проверка.** При наличии у компетентного органа доступных ресурсов для проведения проверки оценки пожарного риска с достаточной степенью точности, компетентный орган вправе самостоятельно проверять документацию по оценке пожарного риска.

**8.1.2 Проверка третьими лицами.** Существует два возможных метода проверки третьими лицами: экспертная оценка и оценка, выполняемая по контракту.

**8.1.2.1** При экспертной оценке компетентный орган просит третьих лиц выполнить проверку оценки пожарного риска. Третьи лица выдают компетентному органу заключение о достоверности оценки пожарного риска. Затем, на основе документации, предоставленной специалистами по экспертной оценке, компетентный орган принимает решение о дальнейших действиях относительно оценки пожарного риска (принятие, запрос выполнения повторной проверки с целью исправления или отказ принятия). Специалисты по экспертной оценке должны обладать квалификацией и опытом, достаточными для проведения оценки пожарного риска. Специалисты по экспертной оценке не должны быть задействованы в процессе оценки пожарного риска, и должны назначаться компетентным органом.

**8.1.2.2** При выполняемой по контракту оценке компетентный орган делегирует полномочия по проверке оценки пожарного риска третьим лицам, которые принимают решение о дальнейших действиях относительно оценки пожарного риска (принятие, запрос выполнения повторной проверки с целью исправления или отказ принятия). Специалисты по выполняемой по контракту оценке должны обладать квалификацией и опытом, достаточными для проведения оценки пожарного риска.

### 8.2 Методы проверки оценки пожарного риска

В ходе проверки оценки пожарного риска компетентный орган должен проверить отражают ли применяемые в анализе допущения, характеристики здания, характеристики населенности и характеристики пожара реальные условия. Вопросы, которые следует проверить, перечислены в п. 8.3. Кроме того, должна быть проведена проверка моделирования, которое применялось при оценке пожарного риска. На последнем этапе проверки допускается выполнение верификации и/или валидации. Валидация представляет собой более тщательную проверку, чем верификация.

**8.2.1 Верификация.** Процесс верификации предназначен для подтверждения того, что используемые в оценке пожарного риска математические зависимости и методы оценки с высокой степенью точности выдают прогнозируемые и достоверные результаты. Методы верификации представлены в пп. 8.2.1.1 – 8.2.1.3.

**8.2.1.1 Проверка повторяемости результатов с помощью альтернативных расчетов.** Результаты анализа пожарного риска можно проверить с помощью альтернативных методов, и сравнения полученных результатов с исходными представленными результатами оценки пожарного риска. При использовании данного метода его выполнение в сложном виде, как в исходном представленном расчете оценки пожарного риска, как правило, не требуется. Например, если в исходном представленном расчете использовались сложные компьютерные модели, то для проверки результатов допускается выполнение простых расчетов вручную. В связи с тем, что в используемых методах могут быть разные степени точности, допускаются некоторые различия в полученных результатах. Однако если данные различия в результатах незначительны, это подтверждает достоверность исходных представленных результатов моделирования.

**8.2.1.2 Пошаговая проверка расчетов.** Верификацию представленных результатов моделирования можно провести методом пошаговой проверки расчетов. Данный метод больше всего подходит для проверки моделирования с использованием расчетов вручную или простых компьютерных моделей. Несмотря на то, что данный метод не позволяет определить корректность моделирования поставленной задачи или правильность выбора модели для данной задачи, он обеспечивает возможность проверки правильности внутренних расчетов.

**8.2.1.3 Выборочная проверка численных результатов.** Если пошаговая проверка расчетов представляется нецелесообразной, допускается выборочная проверка частей процесса моделирования. Если при проверке достаточно больших частей расчетов ошибок не выявлено, проверяющий специалист может сделать обоснованный вывод, что все расчеты выполнены верно. Однако при обнаружении ошибок в сравнительно небольшой части расчетов, с большой долей вероятности можно говорить о наличии ошибок в остальных расчетах. Аналогично методу пошаговой проверки расчета, данный метод не позволяет определить правильность моделирования поставленной задачи или соответствие выбранной модели данной задаче.

**8.2.2 Методы валидации оценки пожарного риска.** Процесс валидации предназначен для подтверждения того, что результаты оценки пожарного риска с высокой степенью точности отражают пожарный риск на объекте. Методы валидации представлены в пп. 8.2.2.1 – 8.2.2.3.

**8.2.2.1 Сравнение с альтернативными расчетами.** Валидацию оценки пожарного риска можно произвести с использованием альтернативных методов моделирования пожарного риска. Выбранные методы должны быть не менее или даже более точными по сравнению с использованными в представленной оценке пожарного риска методами, а метод альтернативного расчета должен выдать результаты, аналогичные представленным на проверку результатам оценки пожарного риска.

**8.2.2.2 Сравнение с результатами испытаний.** Применяемые при оценке пожарного риска методы можно смоделировать с использованием входных данных с описанием условий, при которых были проведены испытания, а затем сравнить результаты моделирования с результатами испытаний. Если результаты моделирования совпадут с результатами испытаний, то проверяющий специалист может с уверенностью говорить о прогнозирующей способности модели.

**8.2.2.3 Демонстрация допустимого функционирования на объекте завершеного строительства.** При демонстрации могут использоваться квалификационные испытания в целях подтверждения того, что модель с высокой степенью точности прогнозирует моделируемый пожар.

### **8.3 Вопросы для проверки**

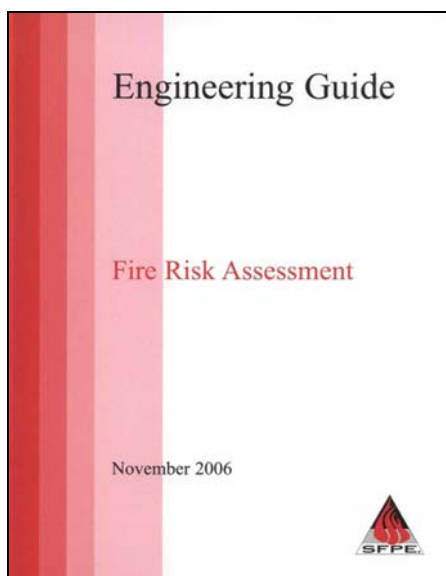
Для определения правильности выполнения оценки пожарного риска можно использовать приведенные ниже вопросы. На каждый вопрос специалист по оценке пожарного риска должен дать подробный ответ относительно его рассмотрения в анализе пожарного риска или объяснить, почему данный вопрос не является релевантным для анализа пожарного риска. В зависимости от содержания анализа пожарного риска, может потребоваться рассмотрение каждого из перечисленных ниже вопросов.

- (1) Определена ли цель анализа пожарного риска?
- (2) Определено ли содержание анализа пожарного риска?
- (3) Определены ли методы анализа пожарного риска, включая обоснование соответствия выбранных методов?
- (4) Определены ли ограничения по анализу?
- (5) Учтены ли результаты методов анализа пожарного риска?
- (6) Учтены ли выводы по анализу пожарного риска?
- (7) Учтено ли руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию с описанием действий пользователей здания?
- (8) Существуют ли рекомендации по внесению изменений?
- (9) Была ли разработана программа проверки, испытаний и технического обслуживания?

## ВЫДЕРЖКИ ИЗ РУКОВОДСТВА SFPE ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА

«Техническое руководство SFPE по оценке пожарного риска»

### *SFPE Engineering Guide. Fire Risk Assessment*



Издательство: Общество инженеров противопожарной защиты (SFPE), г. Бетесда, штат Мериленд, США

*Society of Fire Protection Engineers (SFPE), Bethesda, MD, USA*

Формат: 27,5 x 21 см

Кол-во страниц: 115

Год издания: 2006



# **«ТЕХНИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО SFPE ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА»**

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной главе представлены выдержки из «Технического руководства SFPE по оценке пожарного риска» (*SFPE Engineering Guide. Fire Risk Assessment*) [16]. Информация изложена на основе фрагментарного перевода данного документа. В начале приводится оглавление в целях ознакомления читателей со структурой руководства. Приведенные в данном обзоре части выделены в оглавлении жирным шрифтом.

- 1. Область применения**
  - 1.1 Цель**
  - 1.2 Назначение**
  - 1.3 Структура руководства**
- 2. Термины и определения**
- 3. Краткий обзор оценки пожарного риска**
  - 3.1 Общие положения**
  - 3.2 Описание проекта и стратегии**
  - 3.3 Управление пожарными рисками**
  - 3.4 Принятие решений**
  - 3.5 Заинтересованные лица**
  - 3.6 Порядок оценки пожарного риска**
- 4. Содержание и цели проекта**
  - 4.1 Общие положения**
  - 4.2 Цели проведения оценки**
  - 4.3 Определение физических и фазовых границ**
  - 4.4 Технические требования к проектированию и стратегии**
  - 4.5 Защита допущений**
- 5. Задачи, система показателей и пороговые значения**
  - 5.1 Общий подход**
  - 5.2 Задачи и система показателей в соответствии со стратегическими целями**
  - 5.3 Восприятие риска как фактор при определении системы показателей и пороговых значений риска**
  - 5.4 Подходы к допустимости риска**
- 6. Опасные факторы**
  - 6.1 Определение опасных факторов**
  - 6.2 Опасный фактор в сопоставлении с событием**
  - 6.3 Типы опасных факторов**
  - 6.4 Процесс выявления опасных факторов**
  - 6.5 Иницирующие опасные факторы**
  - 6.6 Способствующие факторы**
  - 6.7 Уязвимости**
  - 6.8 Способы выявления опасных факторов**
- 7. Сценарии пожара**
  - 7.1 Общие положения**
  - 7.2 Характеристики пожара, необходимые для описания параметров сценариев пожара**
  - 7.3 Использование определения опасных факторов в описании параметров сценариев**
- 8. Сценарии пожара**
  - 8.1 Общие положения**
  - 8.2 Группы (кластеры) сценариев**
  - 8.3 Показательные сценарии пожара**
  - 8.4 Количественный анализ сценариев пожара**
  - 8.5 Описание исходных условий и применение расчета**
  - 8.6 Упрощенный анализ**
- 9. Данные**
  - 9.1 Роль данных в процессе оценки пожарного риска**
  - 9.2 Типы данных о пожаре**
  - 9.3 Преимущества и недостатки данных**
  - 9.4 Представление данных**
- 10. Частотный анализ**
  - 10.1 Общие положения**
  - 10.2 Вероятность по сравнению с частотой**
  - 10.3 Расчет вероятностей**
  - 10.4 Характерные типы вероятностей**
  - 10.5 Вероятностная оценка**

- 10.6 Надежность систем
  - 11. Анализ последствий
    - 11.1 Общие положения
    - 11.2 Методы определения последствий
    - 11.3 Оценка последствий
    - 11.4 Сложности при оценке последствий
  - 12. Расчет риска
    - 12.1 Общие положения
    - 12.2 Методы расчета пожарного риска
    - 12.3 Представление результатов оценки риска
  - 13. Анализ неопределенности
    - 13.1 Общие положения
    - 13.2 Источники ошибок и неопределенности
    - 13.3 Рекомендуемый порядок оценки неопределенности
  - 14. Оценка допустимости риска
    - 14.1 Общие положения
    - 14.2 Примеры однозначной допустимости риска
    - 14.3 Примеры однозначной недопустимости риска
    - 14.4 Примеры, когда оценка риска не дает однозначного заключения о допустимости или недопустимости риска
    - 14.5 Возможные проблемы при оценке риска
  - 15. Документация
    - 15.1 Общие положения
    - 15.2 Отчет о концепции оценки пожарного риска
    - 15.3 Полная проектная документация
    - 15.4 Дополнительная документация
- Приложение А. Рекомендуемые справочные материалы
- Приложение В. Дополнительная литература

## **1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

### **1.1 Цель**

«Техническое руководство SFPE по оценке пожарного риска» является руководством по применению методологий оценки пожарного риска на стадии проектирования и оценки пожарной безопасности зданий и/или процесса.

### **1.2 Назначение**

1.2.1 Данное руководство предлагает квалифицированным специалистам механизм выбора и использования методологий оценки пожарного риска при проектировании и оценке пожарной безопасности.

1.2.2 Данное руководство предлагает заинтересованным лицам проекта механизм для рассмотрения вопросов о допустимости пожарного риска.

1.2.3 В руководстве представлена информация о роли оценки пожарного риска в процессе противопожарного проектирования.

1.2.4 Роль оценки пожарного риска рассматривается в данном руководстве в более широком контексте управления рисками.

1.2.5 В руководстве представлен рекомендуемый порядок применения методологий оценки риска. Кроме того, в нем приведен список имеющихся подробных публикаций по методологиям, процедурам и источникам данных по оценке риска. Однако, в нем нет описаний конкретных методологий или способов оценки пожарного риска и конкретных данных или порогов допустимости для применения в ходе осуществления оценки пожарного риска. (Некоторые конкретные способы, методы и критерии приведены в качестве примеров. Информация, изложенная в примерах, не является в обязательном порядке правильной или единственно верной информацией, подходящей для конкретной оценки).

### **1.3 Структура руководства**

1.3.1 Данное руководство по своей структуре соответствует схеме оценки пожарного риска, приведенной на рис.1-1. На схеме представлены этапы проведения оценки пожарного риска.

1.3.2 В главе 2 даны определения к терминам, используемым в руководстве. Термины, определения которых не даны в главе 2, следует понимать в их общепринятом значении.

1.3.3 В главе 3 приводится краткий обзор оценки пожарного риска и ее роли в программах управления рисками и противопожарном проектировании.

1.3.4 В главе 4 даны рекомендации по определению содержания оценки пожарного риска и выявлению заинтересованных лиц, которых он касается.

1.3.5 В главе 5 даны рекомендации по выбору подходящей системы показателей риска и критериев допустимости для использования в оценке пожарного риска.

1.3.6 В главе 6 даны рекомендации по выявлению и описанию пожарных опасностей с целью оказания помощи в разработке сценариев пожара для проведения оценки пожарного риска.

1.3.7 В главе 7 даны рекомендации по разработке сценариев пожара и определению событий, входящих в отдельные сценарии.

1.3.8 В главе 8 даны рекомендации по выбору сценариев, определению групп (кластеров) сценариев и разработке структур сценариев.

1.3.9 В главе 9 даны рекомендации по источникам, применению и ограничениям данных при осуществлении оценки пожарного риска.

1.3.10 В главе 10 даны рекомендации по частотному анализу и методам, помогающим в количественной обработке частоты событий.

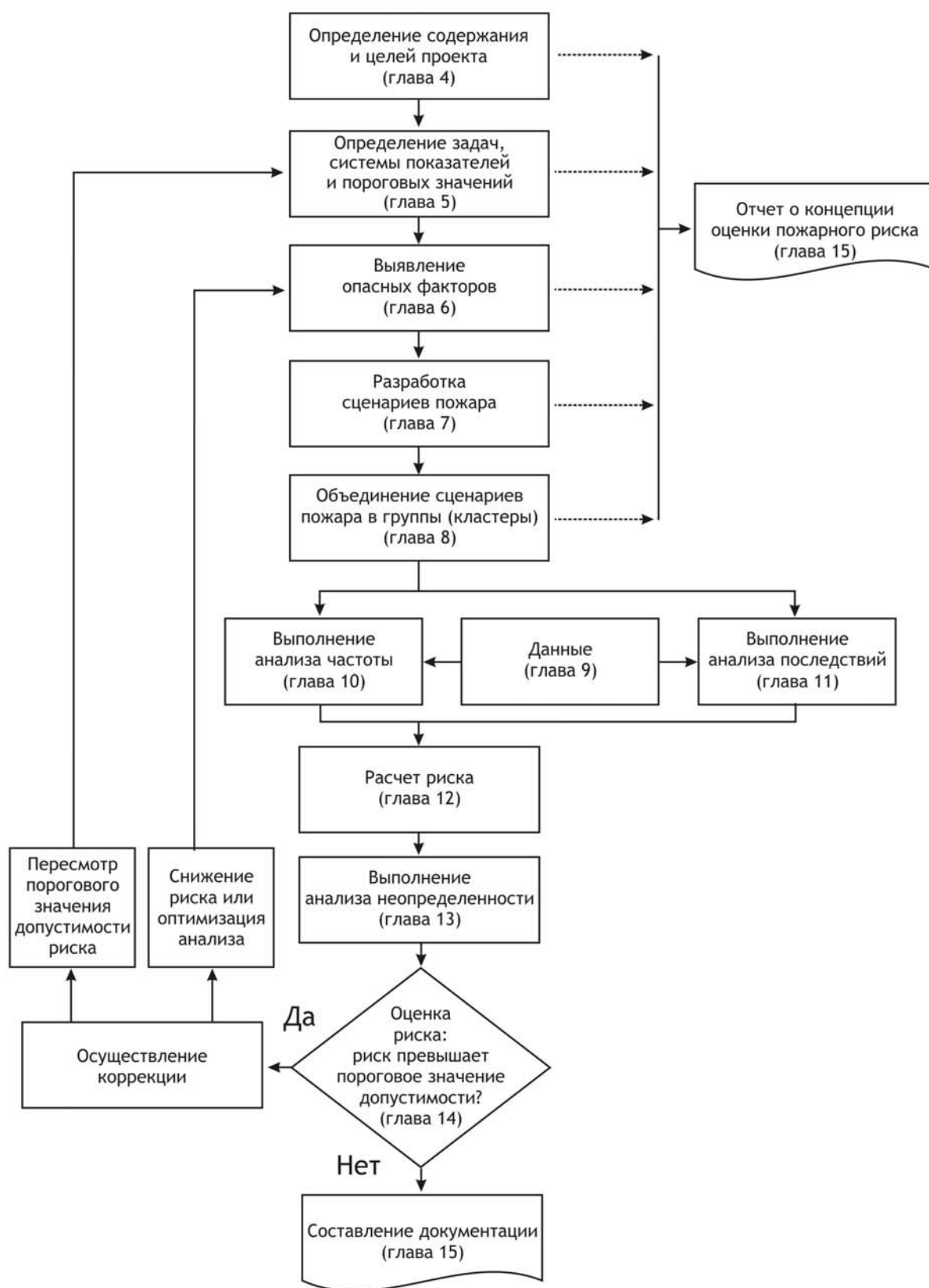
1.3.11 В главе 11 даны рекомендации по анализу последствий и методам, помогающим в оценке и количественной обработке последствий сценариев.

1.3.12 В главе 12 даны рекомендации по расчету пожарного риска, основываясь на выходных данных по частоте и последствиям из глав 10 и 11.

1.3.13 В главе 13 даны рекомендации по анализу неопределенностей, а также по тому, как учитывать неопределенности данных и расчетов при проверке и рассмотрении результатов оценки.

1.3.14 В главе 14 даны рекомендации по анализу результатов оценки пожарного риска и их использованию в процессе принятия решений.

1.3.15 В главе 15 даны рекомендации по документированию оценки пожарного риска, решений и результатов таким образом, чтобы заинтересованные лица понимали содержание, методы, ограничения и выводы оценки пожарного риска.



**Рис.1-1. Блок-схема оценки пожарного риска**

## 2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной главе приведены определения основных терминов, употребляемых в данном руководстве. Поскольку предмет оценки пожарного риска находится в процессе развития, и по нему нет единства мнений, значения могут варьироваться среди специалистов, организаций и юрисдикций.

**Порог допустимости (*acceptability threshold*)** – количественное значение, полученное из качественных целей или задач пожарной безопасности в целях сравнения с расчетным риском и помощи в оценке вариантов проектирования пожарной безопасности или снижения рисков.

**Точность данных (*accuracy of data*)** – характеристика набора данных с учетом прецизионности и погрешности измерения, включая повторяемость (подсчеты на основе одного и того же источника в два момента времени) и воспроизводимость (подсчеты на основе множественных источников).

**Принцип ALARP: минимальный практически приемлемый риск (*as low as reasonably practicable (ALARP)*)** – порог допустимости риска, основанный на принципе снижения риска вплоть до того момента, когда принятие дополнительных мер по снижению риска, будучи технически осуществимым, будет признано несоразмерно затратным.

**Компетентный орган (*authority having jurisdiction*)** – организация, офис или человек, ответственные за утверждение проектов, оборудования, установки, материалов или процедур.

**Эксплуатационная готовность (*availability*)** – готовность системы выполнять требуемую функцию при заданных условиях в заданный момент времени или в течение установленного периода времени при наличии необходимых внешних ресурсов.

**Погрешность измерения (*bias*)** – показатель того, насколько хорошо среднее значение набора данных прогнозирует ту количественную величину, которая должна быть оценена, исходя из этого набора данных.

**Характеристика здания (*building characteristics*)** – подробное описание здания (например, план и геометрия, подъездные пути и пути эвакуации, тип и материалы конструкции, содержимое и отделка, инженерные коммуникации, а также системы и особенности пожарной безопасности), как правило, в соответствии с техническими условиями на проектирование, в форме подходящей и достаточной для использования со сценарием пожара в ходе оценки последствий этого сценария для здания.

**Условная вероятность (*conditional probability*)** – вероятность события, обусловленная возникновением предшествующего события.

**Последствие (*consequence*)** – результат или результаты события, выраженные в положительных или отрицательных значениях, в количественных или качественных показателях. (Обсуждение: термин «тяжесть» иногда используется в отношении события, выраженного в количественных показателях. Термин «воздействие» иногда используется для перевода или преобразования физического воздействия, являющегося закономерным следствием, в его воздействие на объекты: людей, имущество, окружающую среду или объекты особой важности. Термин «последствие» может использоваться для любого из результатов, т.е. физического воздействия или воздействия на объекты).

**Технико-экономический анализ (*cost-benefit analysis*)** – утвержденная количественная процедура сравнения затрат и выгод предложенного проекта или действия в соответствии с набором предустановленных правил.

**Малозначительный риск (*de minimis risk*)** – от латинского изречения «*de minimis non curat lex*» или «закон не занимается пустяками». Предполагается снижение риска до такого уровня, ниже которого нет необходимости беспокоиться.

**Расчетный пожар (*design fire*)** – количественное выражение описания пожара, исходя из сценария пожара. При проведении оценки пожарного риска он применяется для оценивания последствий сценария пожара. (Обсуждение: при количественном выражении на основе количественной характеристики пожара (например, скорости выделения тепла) как функции времени, иногда применяют термин «кривая расчетного пожара», но для полного описания необходимы другие характеристики, такие как положение источника возгорания. См. также «характеристика пожара»).

**Расчетный сценарий пожара (*design fire scenario*)** – сценарий пожара, используемый для анализа проекта. (Обсуждение: расчетные сценарии пожара применяются при техническом анализе опытных конструкций и обычно не используются при оценке пожарного риска. См. предпочтительный термин «показательный сценарий пожара»).

**Детерминированный (*deterministic*)** – основанный на физических закономерностях, выведенных из научных теорий и практических результатов, которые для заданного набора исходных условий всегда дают один и тот же результат.

**Детерминированный анализ (*deterministic analysis*)** – методология, основанная на физических закономерностях, выведенных из научных теорий и эмпирических результатов, которые для заданного набора исходных условий дают один и тот же результат или прогноз. (Обсуждение: при детерминированном анализе один набор входных данных определяет конкретный набор выходных прогнозов).

**Событие (*event*)** – возникновение определенной совокупности обстоятельств.

**Иницирующее событие (*initiating event*)** – первое событие, зафиксированное в хронологии, смоделированной деревом событий. (Обсуждение: иницирующее событие обычно вызывает отклонение от нормальных или ожидаемых условий).

**Механизм отказов (*failure mechanism*)** – причинный фактор отказа. (Обсуждение: обычно физический или химический процесс, конструктивный недостаток, неправильное применение компонентов, дефект качества или иной процесс, являющийся основной причиной отказа).

**Характер отказа (*failure mode*)** – альтернативные обстоятельства, которые могут привести к отказу.

**Анализ характеров и последствий отказов (*failure modes and effects analysis (FMEA)*)** – средство систематического анализа всех характеров отказов компонентов и определения результирующих воздействий на систему.

**Анализ дерева отказов (*fault tree analysis (FTA)*)** – метод, с помощью которого события, взаимодействующие между собой и порождающие новые события, могут быть соотнесены посредством использования простых логических зависимостей, позволяющих осуществить систематизированное построение структуры, представляющей собой систему.

**Характеристика пожара (*fire characteristics*)** – набор данных, обеспечивающих описание пожара (также см. термин «расчетный пожар»).

**Краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты (*fire protection engineering design brief*)** – документ, резюмирующий согласованные критерии допустимости и методы, которые будут использоваться при оценке опытных конструкций.

**Оценка пожарного риска (*fire risk assessment (FRA)*)** – установленная процедура подсчета и оценки пожарного риска, рассматривающая сценарии пожара и группы сценариев пожара вместе со связанными с ними вероятностями и последствиями, используя один или более порогов допустимости. (Обсуждение: см. главу 8).

**Отчет о концепции оценки пожарного риска (*fire risk assessment concept report*)** – описание запланированного подхода к проведению оценки пожарного риска. См. пункт 15.2 и рис. 1-1. (Обсуждение: при использовании оценки пожарного риска в проектировании отчет о концепции входит в краткое описание (бриф) проекта пожарной защиты).

**Сценарий пожара (*fire scenario*)** – качественное описание течения пожара с учетом времени, определяющее основные события, которые характеризуют пожар и отличают его от других возможных пожаров. [Обсуждение: как правило, сценарий описывает возгорание (см. термин «инициирующий опасный фактор»), процесс роста пожара, стадию полностью развившегося пожара и стадию затухания. В нем отсутствует подробное описание здания или иного объекта для исследования (см. термин «характеристика здания»), но в него входит описание событий, относящихся к статусу и функционированию систем и конструктивных особенностей (см. термин «способствующий опасный фактор»). В него могут быть включены характеристики населенности (см. термин «уязвимость»), либо они могут рассматриваться отдельно в поведенческом сценарии пожара. Сценарий пожара может использоваться для детерминированного анализа пожара (см. термин «расчетный сценарий пожара») или оценки пожарного риска (см. термин «показательный сценарий пожара»)].

**Показательный сценарий пожара (*representative fire scenario*)** – заданный сценарий пожара, выбранный из группы сценариев пожара на основе допущения, что последствия показательного сценария пожара дают реалистичную оценку типичных последствий сценариев в группе (кластере) сценариев пожара.

**Группа (кластер) сценариев пожара (*fire scenario cluster*)** – группа сценариев, имеющих несколько (но не все) общих определяющих характеристик. (Обсуждение: вероятности оцениваются для групп сценариев пожара, каждая из которых имеет показательный сценарий пожара, являющийся основой для оценки последствий сценария).

**Цель пожарной безопасности (*fire safety goal*)** – искомый результат общей пожарной безопасности, выраженный в качественных параметрах.

**Частота (*frequency*)** – количество возникновений события в течение заданного периода времени.

**Опасный фактор, опасность (*hazard*)** – условие или физическая ситуация, которые могут нанести вред.

**Исследование опасности и работоспособности (*hazard and operability (HAZOP) study*)** – систематический метод выявления опасных факторов процесса и потенциальных проблем в эксплуатации с использованием ряда ключевых слов для исследования отклонений в процессе. (Обсуждение: анализ эксплуатационных характеристик и опасных факторов обычно применяется в химической промышленности).

**Способствующий опасный фактор (*enabling hazard*)** – опасный фактор, который способен увеличить тяжесть последствий, возникших в результате начавшегося пожара, позволяя или содействуя росту или распространению пожара, или иным путем увеличивая ущерб, наносимый окружающей среде пожаром.

**Иницирующий опасный фактор (*initiating hazard*)** – опасный фактор, который может вызвать начало пожара, проявляющийся в виде события возгорания или события, являющегося частью последовательности событий, приведших к возгоранию.

**Уязвимость, восприимчивость к опасному фактору, незащищенность (*vulnerability hazard*)** – опасность, при которой возможность чрезвычайно крупных последствий возникает из-за чрезмерно высокой восприимчивости к воздействию (т.е. более высокой по сравнению с обычным уровнем восприимчивости к вредному воздействию) или чрезмерно крупному масштабу воздействия.

**Задача (*objective*)** – условие, связанное с пожаром, зданием, системой или пользователями здания, которое необходимо выполнить для достижения цели по пожарной безопасности. (Обсуждение: задачи формулируются с использованием более конкретных терминов, чем цели. Как правило, в задачах определен ряд действий, необходимых для того, чтобы сделать достижение цели наиболее вероятным.)

**Функционально-ориентированное проектирование (*performance-based design*)** – инженерный подход к противопожарному проектированию, основанный на (1) установленных целях и задачах пожарной безопасности; (2) детерминированном и вероятностном анализе сценариев пожара; и (3) качественной оценке вариантов проектирования в соответствии с целями и задачами пожарной безопасности с использованием принятых инженерных средств, методологий и критериев допустимости.

**Прецизионность (*precision*)** – величина неустойчивости или неопределенности, связанной с конкретным значением данных.

**Вероятностный анализ (*probabilistic analysis*)** – оценка ущерба от пожара и последствий пожара, включающая рассмотрение возможности разных сценариев пожара и входных данных, которые определяют эти пожарные сценарии.

**Вероятность (*probability*)** – возможность возникновения конкретного события. (Обсуждение: вероятности по своей сути являются безразмерными и выражены числом от 0 до 1 включительно. При наличии соответствующих статистических данных вероятность события может быть логически выведена из отношения количества действительных случаев события к общему количеству возможных случаев).

**Надежность (*reliability*)** – способность элемента выполнять требуемую функцию в заданных условиях в течение заданного периода времени.

**Риск (*risk*)** – возможность развития нежелательных неблагоприятных последствий с учетом сценариев, связанных с ними частот или вероятностей и последствий.

**Допустимый риск (*acceptable risk*)** – предполагаемый риск, считающийся допустимым по результатам сравнения с одним или более порогами допустимости. (Обсуждение: его также называют «приемлемым риском»).

**Индивидуальный риск (*individual risk*)** – риск, имеющий отношение к конкретному человеку, а не к населению в целом.

**Социальный риск (*societal risk*)** – риск, имеющий отношение к населению в целом, а не к конкретному человеку.

**Коэффициент запаса (*safety factor*)** – поправка, компенсирующая неопределенность в методах, расчетах и допущениях, применяемых при разработке инженерных проектов.

**Сценарий (*scenario*)** – совокупность обстоятельств и/или последовательность событий при пожаре, которая является правдоподобной и в достаточной степени предсказуемой.

**Группа (кластер) сценариев (*scenario cluster*)** – группа сценариев, имеющих несколько (но не все) общих определяющих характеристик.

**Структура сценариев (*scenario structure*)** – совокупность групп (кластеров) сценариев, каждая из которых имеет свой собственный показательный сценарий, в которой группы сценариев не совпадают и вместе включают в себя все сценарии, представляющие интерес.

**Заинтересованное лицо (*stakeholder*)** – человек, группа людей или организация, которые могут повлиять на риск, на которых может повлиять риск, или которые считают, что на них может повлиять риск.



## **3. КРАТКИЙ ОБЗОР ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА**

### **3.1 Общие положения**

3.1.1 Оценка пожарного риска представляет собой процесс подсчета и анализа пожарного риска, в ходе которого рассматриваются соответствующие сценарии пожара, вероятности их возникновения и последствия с использованием одного или более порогов допустимости. В других документах могут использоваться иные термины для описания оценки пожарного риска, представленной в данном руководстве (например, «анализ пожарного риска»). Такие термины как «анализ пожароопасности» применяются в установленном порядке для обозначения анализа одного или нескольких сценариев без учета вероятности или частоты. Фактический ущерб подразумевает не только наличие самой пожароопасности, но и ее воздействие.

3.1.2 Оценка пожарного риска создает техническую основу для принятия решений по управлению пожарными рисками. Одним из полезных результатов оценки рисков является определение мер по предотвращению выявленных опасных факторов или защите от них. Меры направлены на снижение вероятности возникновения этих последствий и определение мер успешной борьбы с подобными последствиями в случае их возникновения.

3.1.3 Анализ рисков, применяемый в отношении пожароопасности - это процесс оценки предполагаемого ущерба от пожара, включая потенциальный вред и ущерб в различных рассматриваемых сценариях пожара. Каждый сценарий пожара имеет соответствующую вероятность возникновения.

### **3.2 Описание проекта и стратегии**

3.2.1 В оценку пожарного риска входит описание проекта и любых других элементов стратегии в показателях, подходящих для анализа. (В рамках данного руководства термин «проект» следует понимать в широком смысле, включая проект программы или стратегии, а также проект всего здания (нового или существующего) или его части. Если речь идет о существующем здании, исходным оцениваемым проектом являются существующие условия.) Это описание отличается от технических требований к проектированию или стратегии, необходимых для детального описания того, что будет построено или сделано.

3.2.2 Технические требования к проектированию (или стратегии) требуют преобразования специфики проекта (или иной программы пожарной безопасности) в показатели, совместимые с моделями, данными или иной технической информацией, которые будут использоваться при оценке реализации вероятности возникновения пожара и ущерба от него.

3.2.3 Стратегия снижения частоты возникновения инициирующего события (например, возгорания) является стратегией по предотвращению пожара. Стратегия снижения степени тяжести пожара, который не был предотвращен, является стратегией по снижению ущерба и иногда также называется стратегией противопожарной защиты.

3.2.4 Опасные факторы могут быть учтены с помощью противопожарных мер (техническое обеспечение) и/или систем управления (программное обеспечение), инженерно-технических систем или процедур по управлению безопасностью.

### **3.3 Управление пожарными рисками**

3.3.1 Управление пожарными рисками – это процесс принятия решений о том, что необходимо предпринять в отношении выявленных опасных факторов, подвергаемого воздействию населения и прогнозируемых неблагоприятных результатов. Управление пожарными рисками включает в себя внедрение стратегии, проанализированной с помощью оценки пожарного риска и управление действующей программой (например, обучение, техническое обслуживание), необходимой для того, чтобы убедиться, что принятая стратегия продолжает поддерживать тот уровень риска, который ранее был определен как допустимый.

3.3.2 Управление пожарными рисками также включает в себя управление затратами и прогнозируемыми результатами, связанными с принятым решением. Существует ряд вариантов управления пожарными рисками (например, альтернативные пути финансирования прогнозируемого ущерба), но их описание не входит в задачи данного руководства.

3.3.3 Еще один аспект управления рисками – это «оповещение о рисках», включающее в себя обмен информацией об опасности или риске. Для обеспечения эффективной передачи информации между группами, участвующими в проекте (а именно: проектировщиками, специалистами по моделированию пожаров или представителями компетентных органов), проектное задание должно гарантировать, что переменные, необходимые одним специалистам в качестве входных данных, предоставляются другими специалистами, получившими их в виде выходных данных. Кроме того, в проектном задании должен быть установлен протокол оповещения о пожарных рисках заинтересованных лиц и представителей разных специальностей, участвующих в проекте.

### **3.4 Принятие решений**

3.4.1 В проектном задании должно быть указано, каким образом заинтересованные лица будут принимать участие в решениях, касающихся технических требований к оценке пожарного риска. Отчет о концепции оценки пожарного риска является полезным средством документирования и обсуждения этих требований. См. главу 15.

3.4.2 Заинтересованные лица могут включать в себя одну или несколько категорий: представители надзорных органов, владельцы зданий, застройщики, сотрудники, персонал аварийно-спасательных служб и страховые компании, а также население соседних территорий. Также см. п.3.5.

3.4.3 Поскольку заинтересованные лица могут иметь разные интересы, должно быть понятно, как будут приниматься решения, если между сторонами возникнут разногласия. Например, представитель надзорного органа может потребовать соблюдения минимальных пороговых значений допустимости в соответствии с действующими нормами, но не иметь права голоса при выборе между двумя проектами, соответствующими нормам. Если вопрос касается страхового покрытия, страховая компания, по всей видимости, будет иметь более широкий круг интересов.

3.4.4 Наличие одного решающего лица не означает, что намерения и предпочтения других заинтересованных лиц не должны учитываться. Например, владелец здания может захотеть, чтобы при определении допустимости пожарного риска были удовлетворены требования как страховой компании, так и компетентного органа.

3.4.5 Кроме того, разные лица могут быть заинтересованы в разных мерах по предотвращению последствий. Например, представители надзорных органов могут быть заинтересованы исключительно или преимущественно в мерах безопасности (количестве смертельных случаев/травм), в то время как страховые компании могут быть заинтересованы исключительно или преимущественно в денежных вопросах (например, размер ущерба и другие денежные потери, затраты).

### **3.5 Заинтересованные лица**

3.5.1 Заинтересованное лицо – это человек, группа людей или организация, которые могут повлиять на риск, на которых может повлиять риск, или которые считают, что на них может повлиять риск. Каждая группа заинтересованных лиц вносит свой вклад в процесс принятия решений, что является составной частью подготовки содержания проекта.

3.5.2 Лица, которые могут испытать последствия, связанные с рисками (например, получить травмы в результате пожара, повреждение имущества при пожаре, прерывание коммерческой деятельности или работы, или их полную потерю вследствие пожара) считаются в связи с этим фактом заинтересованными лицами. Зачастую интересы людей, чьей единственной ставкой в проекте является их потенциальная уязвимость к вредоносному воздействию, отстаивает компетентный орган.

#### **3.5.3 ВЛАДЕЛЕЦ ЗДАНИЯ**

Владельца здания, как правило, волнует целый спектр вопросов, касающихся рисков (безопасность, защита имущества, непрерывность производственного процесса, окружающая среда), с упором на том или ином аспекте в зависимости от назначения здания (например, общественное здание или склад), размера и местоположения. При необходимости владелец здания делает упор на расходы, включая текущие расходы и временные издержки. Владелец здания может назначить своим доверенным лицом, представляющим его интересы, управляющего зданием или управляющего рисками.

#### **3.5.4 ПОЛЬЗОВАТЕЛИ ЗДАНИЯ**

Пользователей здания, как правило, интересует личная безопасность, т.е. они заинтересованы в том, чтобы находиться в таком здании, в котором они уверены, что не будут травмированы вследствие пожара.

#### **3.5.5 СОСЕДИ**

Люди, находящиеся по соседству со зданием, заинтересованы в том, чтобы событие, происходящее в этом здании, не причинило вреда им и тому зданию, в котором они находятся. Под вредом подразумевается вред от пожара, продуктов горения, обрушения здания и т.п.

#### **3.5.6 МУНИЦИПАЛЬНЫЕ ВЛАСТИ**

Правительства государства, округов и городов формируются с целью обеспечить защиту населения. Причиняемый вред необязательно имеет непосредственное проявление. Существенной может оказаться безработица и, как следствие, потеря муниципалитетами налоговой базы. Ущерб, вызванный чрезмерными требованиями или нехваткой служб безопасности, может привести к тому, что работодатели будут переезжать в те местности, где им будет оказана большая поддержка, а население будет мигрировать вследствие чрезмерных налогов или отсутствия необходимых служб.

#### **3.5.7 ПРЕДСТАВИТЕЛЬ НАДЗОРНЫХ ОРГАНОВ**

Представителями надзорных органов обычно являются госслужащие разного уровня, как государственно-го, так и местного, но их видение отличается от видения правительственного органа. Как правило, представители надзорных органов концентрируются на одном из аспектов риска (например, пожароопасности), поскольку они сосредоточены на приведении в исполнение конкретного набора норм и правил. Риски, не имеющие отношение к пожарам, которые могут рассматриваться муниципальными властями, не являются прямой обязанностью представителей надзорных органов. Представителя надзорного органа скорее может волновать вопрос о незавышенности оценки, присвоенной риску, в случае возникновения ущерба в здании, которое прошло процедуру утверждения со стороны надзорного органа и удовлетворяло требованиям неявно.

#### **3.5.8 СЛУЖБЫ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ**

Службы экстренного реагирования (пожарные) отдают себе отчет в том, что во время пожара в здании могут быть опасные условия; тем не менее, они полагают, что на начальном этапе пожара конструкция останется достаточно устойчивой, чтобы была возможность осуществить эвакуацию людей и потушить пожар.

#### **3.5.9 СТРАХОВАЯ КОМПАНИЯ**

Основной задачей страховой компании является распределение рисков для владельца здания и жильцов/арендаторов. Страховые компании, занимающиеся страхованием имущества и страхованием от несчаст-

ных случаев, преследуют разные цели. Компании, занимающиеся страхованием имущества, в основном делают упор на сохранности имущества и непрерывности производственного процесса, а компании, страхующие от несчастных случаев, делают упор на безопасности.

#### **3.5.10 ПРОЕКТИРОВЩИК**

Проектировщик заинтересован в том, чтобы спроектировать здание, отвечающее требованиям разных заинтересованных лиц. Как правило, проектировщик руководствуется требованиями заказчика (владельца здания), но должен соблюдать требования надзорных органов, страховых компаний и др. Проектировщика интересует соблюдение инженерно-технических требований и затраты на варианты проекта по обеспечению допустимого риска.

#### **3.5.11 УПРАВЛЯЮЩИЙ РИСКАМИ**

Управляющий рисками занимается сопоставлением различных затрат (включая страховые расходы, нестрахуемый минимум и затраты на строительство) с допустимым риском.

### **3.6 Порядок оценки пожарного риска**

3.6.1 На блок-схеме оценки пожарного риска представлен путь, которому необходимо следовать при проведении оценки пожарного риска. Этапы, представленные на рис.1-1, относятся к главам данного руководства.

#### **3.6.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА**

Оценка пожарного риска начинается с определения содержания проекта. Этот этап включает в себя определение типов риска, входящих в содержание проекта и требующих учета по сравнению с теми, которые выходят за пределы содержания проекта. Он также включает в себя определение аспектов проектирования и эксплуатации, входящих в содержание проекта по сравнению с теми, которые в него не входят (например, проект предусматривает проектирование только системы автоматического пожаротушения; проект ограничен только конкретными частями здания). Когда содержание проекта определено, следующим этапом является определение технических требований к проектированию или стратегии. На рис. 1-1 пересмотр проекта или стратегии представлен в виде необходимой коррекции под заголовком «Снижение риска». (См. главу 4.)

#### **3.6.3 УСТАНОВКА ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДОПУСТИМОСТИ РИСКА**

Основные стратегические цели должны быть преобразованы в задачи. Установка пороговых значений – это процесс преобразования целей и задач проекта в обобщенные показатели частоты и последствий, содержащие пороговые значения допустимости риска по всем сценариям. Как правило, обобщенные показатели задаются в виде величины или вероятности, основанных на времени (например, допустимое количество смертельных случаев в год или допустимая вероятность смертельных случаев за 5 лет). Процесс оценки пожарного риска, описанный в данном руководстве, включает в себя шаги по модификации проекта в целях снижения риска до уровней, считающихся приемлемыми, что включает в себя подтверждение того, что суммарный риск ниже порога допустимости. (См. главу 5.)

#### **3.6.4 ВЫЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ**

Выявление опасных факторов – первый шаг в разработке сценариев. Угроза, представленная наличием опасного фактора, является подходящей основой для разработки сценария пожара и типа сценария, который заслуживает рассмотрения. (См. главу 6.)

#### **3.6.5 РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ ПОЖАРА**

Сценарий пожара – это явление пожара, описанное в виде последовательности событий. Сценарии разрабатываются на основе содержания проекта и опасных факторов. Разработка сценариев может привести в итоге к большому числу вариантов, которые уточняются на следующем этапе. (См. главу 7.)

#### **3.6.6 ВЫБОР СЦЕНАРИЕВ ПОЖАРА**

Совокупность сценариев, разработанных на предыдущем этапе, должна быть сведена к поддающемуся управлению количеству сценариев, которые в сумме представляют все сценарии для дальнейшего исследования. Сценарии могут быть объединены в группы (кластеры) в соответствии с общими определяющими характеристиками. (См. главу 8.)

#### **3.6.7 ДАННЫЕ**

Данные могут потребоваться для осуществления частотного анализа и анализа последствий. Необходимо учитывать прецизионность, точность, неустойчивость и адекватность данных. (См. главу 9.)

#### **3.6.8 ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ**

Частотный анализ, входящий в определение рисков, определяет, как часто можно ожидать возникновения выбранных сценариев за единицу времени. Существуют разные методы проведения этого анализа. (См. главу 10.)

#### **3.6.9 АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ**

Анализ последствий – это основной компонент характеристики рисков, включающий в себя определение потенциальных воздействий опасного события без учета возможности возникновения последствий. (См. главу 11.)

#### **3.6.10 РАСЧЕТ РИСКА**

Итоговый этап оценки пожарного риска состоит в объединении рассчитанной частоты и последствий в суммарные показатели для сравнения с пороговыми значениями допустимости. (См. главу 12.)

#### **3.6.11 АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Прогнозы последствий и частоты могут отклоняться от реальных условий пожара в результате как неопределенностей, связанных с моделированием пожаров, так и неопределенностей, связанных с неустойчивостью входных данных. (См. главу 13.)

#### 3.6.12 ОЦЕНКА РИСКА

Осуществляется оценка рассчитанного риска с целью определить, находится ли он в пределах пороговых значений допустимости. (См. главу 14.)

#### 3.6.13 ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО ОЦЕНКЕ РИСКА

Соответствующая документация необходима для того, чтобы обеспечить понимание всеми заинтересованными лицами содержания, метода, ограничений и выводов оценки пожарного риска. (См. главу 15.)

## **4. СОДЕРЖАНИЕ И ЦЕЛИ ПРОЕКТА**

### **4.1 Общие положения**

Первый этап в проведении оценки пожарного риска состоит в определении содержания оценки. Поскольку на данном этапе определяются цели и границы оценки, все заинтересованные лица должны прийти к согласию относительно него.

### **4.2 Цели проведения оценки**

Содержание проекта должно начинаться с описания целей проекта так, чтобы специалист, осуществляющий оценку, и другие заинтересованные лица понимали, что предполагается достичь в результате оценки риска.

К общепринятым целям относятся:

- подтверждение допустимого уровня риска или элементов риска (степень тяжести или вероятность возникновения) в соответствии с требованиями норм или условиями страхования;
- снижение или предотвращение смертельных случаев и травм и/или физического ущерба и/или вреда окружающей среде;
- повышение экономической эффективности предотвращения рисков;
- сведение к минимуму вероятности прерывания деятельности;
- сохранение культурного наследия;
- предоставление информации заинтересованным лицам о риске, связанном с конкретной деятельностью/системой.

### **4.3 Определение физических и фазовых границ**

4.3.1 Поскольку содержание проекта должно устанавливать границы оценки, необходимо задать две границы:

1. физическую границу;
2. фазовую границу.

4.3.2 Физические границы являются ограничениями в пространстве как в отношении самого проекта, так и в отношении степени воздействий. К примерам относятся границы землеустройства участка под застройку или комплекса, внешние стены здания или транспортного средства и внутренние границы части здания, где осуществляется деятельность или процесс, или где будет реализовываться проект по реконструкции.

4.3.3 Фазовые границы – это границы во времени, а не в пространстве. Например, период времени, когда здание открыто и функционирует, предполагает наличие рисков, которые отличаются от тех, что существуют, когда здание закрыто. Управление рисками на этапе строительства может не включать в себя учет рисков, связанных с построенным зданием.

4.3.4 Границы не означают, что за их пределами нет рисков, или что на риски, существующие за пределами границ, не влияют выборы, сделанные в пределах границ. Скорее определение границ является необходимым аналитическим шагом для формирования выполнимого аналитического задания, учитывая при этом интересы заинтересованных лиц.

### **4.4 Технические требования к проектированию и стратегии**

4.4.1 Некоторые технические требования являются постоянными характеристиками, например, размеры помещений или условия активации при повышении температуры для действующих систем. Эти постоянные характеристики позволяют рассчитать условия пожара в следующий момент времени на основе существующих условий.

4.4.2 Другие технические требования являются переменными характеристиками, которые предлагается поддерживать в заданных пределах на протяжении срока эксплуатации имущества. Примерами могут выступать характеристики топливной нагрузки или другие характеристики поведения при пожаре содержимого, мебели и оборудования, количество людей в здании или знания, навыки или другие характеристики пользователей здания. Ни одна из этих характеристик не может быть постоянной в ходе проектирования и строительства, но все они окажут влияние на частоту возникновения и тяжесть последствий пожаров в течение всего срока эксплуатации здания.

4.4.3 Некоторые из непостоянных характеристик лучше всего поддаются пониманию на основе вероятностного анализа. К таковым, например, относится надежность систем. Возможно спроектировать или контролировать параметры распределения вероятностей, такие как среднее значение времени между отказами, но невозможно спроектировать или контролировать реальные значения, которые будут иметь эти характеристики в конкретный момент, т.к. они будут различаться спорадически.

4.4.4 Некоторые характеристики, которые могли бы быть заданы, могут быть не включены в технические требования. Например, может быть очень сложно спрогнозировать или контролировать будущих пользователей здания и их способы пользования зданием, в связи с чем инженер может не захотеть придерживаться технических требований к содержимому, мебели и оборудованию. Тем не менее, некоторые допущения относительно этих неопределенных характеристик должны быть сделаны, чтобы можно было осуществить расчет риска. Эти допущения должны быть соответствующим образом обоснованы и оправданы.

## 4.5 Защита допущений

4.5.1 Анализ рисков связан с рядом условий и допущений, которые сами по себе не являются проектными решениями. К ним относятся допущения методов анализа или прогнозы типов использования здания или помещения. Результаты анализа рисков распространяются в том диапазоне, в котором эти условия и допущения остаются в силе. Для того чтобы результаты анализа рисков нашли применение, следует предпринять меры по защите допущений, что означает предотвращение значительных отклонений в течение неопределенного срока, в том числе, на протяжении всего срока службы здания. Кроме того, необходимо предпринять шаги, чтобы удостовериться, что любые значительные отклонения, при их возникновении, будут быстро выявлены, и о них будут оперативно уведомлены ответственные стороны. Некоторые отклонения от исходных условий могут привести к необходимости пересмотра и доработки оценки риска для определения допустимости изменившихся условий и, при необходимости, информировании об устранении неисправностей и управлении ими в ответ на возникновение недопустимых условий.

4.5.2 При оценке вероятностей важно учитывать потенциальные изменения в применении здания. Возможные изменения в назначении здания или населенности важны при оценке риска. Как правило, исследования проводятся по конкретному применению конструкции или здания. Когда происходят изменения в использовании здания или конструкции, специалист по оценке риска должен оценить, как иницирующие события и последующие события, связанные с предотвращением пожара, возгоранием, тушением пожара и типом воздействия, приводят к изменению результата.

4.5.3 Например, при расширении складского помещения с целью преобразования его в профессионально-техническое училище, в помещении изменяется пожарная нагрузка (мебель вместо упакованных в коробки товаров, сложенных штабелями), происходят изменения в источниках возгорания (возгорание кухонных плит и других приборов вместо разрядных ламп высокой интенсивности или работ с открытым пламенем или тепловыделяющим оборудованием), изменения в тушении пожара (изменение типа спринклеров) и изменение типа воздействия (защита жизни людей вместо защиты имущества.) Результаты оценки риска могут быть адекватными для одного применения, но совершенно не подходить для иного применения здания, что приведет к полной несостоятельности исследования, если не будут учтены иные варианты применения.

4.5.4 Более подробная информация по этой теме представлена в главе 15.

## 5. ЗАДАЧИ, СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПОРОГОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

### 5.1 Общий подход

5.1.1 В данной главе описан процесс перевода целей в более конкретные задачи и затем в количественное выражение этих задач в виде соответствующей системы показателей, каждый из которых имеет свое пороговое значение допустимости.

5.1.2 Задачи по пожарной безопасности формулируются более подробно, чем цели по пожарной безопасности в отношении того, защита кого или чего должна быть обеспечена и от какого типа или механизма вреда. В зависимости от прав собственности могут существовать пространственные или иные ограничения или особенности.

5.1.3 Когда задача по пожарной безопасности переводится в количественное выражение для создания критериев сдачи в эксплуатацию или эксплуатационных показателей, она может быть выражена в следующей форме: «Значение X должно быть больше/меньше порогового значения Y».

5.1.4 Когда при оценке пожарного риска применяются полуколичественные методы (см. главу 12), система показателей задается не полностью. Тем не менее, система показателей может помочь отличить допустимые значения от недопустимых по каждому из показателей. В подобных случаях для создания показателя относительной общей допустимости можно использовать весовые показатели значимости. В таких случаях заинтересованные лица должны прийти к согласию о весовых показателях значимости и допустимости.

5.1.5 Когда при оценке пожарного риска применяются качественные методы (см. главу 12), нет более детальных показателей, чем подсчет пунктов в списке. Основываясь на таком анализе, практически нет необходимости определять относительную общую допустимость.

5.1.6 Последующие разделы данной главы сгруппированы в соответствии с пятью потенциальными стратегическими целями:

1. безопасность;
2. защита собственности;
3. непрерывность деятельности;
4. защита окружающей среды;
5. сохранение культурного наследия.

### 5.2 Задачи и система показателей в соответствии со стратегическими целями

#### 5.2.1 БЕЗОПАСНОСТЬ

5.2.1.1 В задачи по безопасности входит указание следующих моментов:

- кто подвергается воздействию, включая людей, находящихся в здании, персонал служб экстренного реагирования и, возможно, людей в соседних зданиях;
- какое количество людей подвержено воздействию, каковы их характеристики.

5.2.1.2 Примеры показателей, входящих в систему показателей по безопасности:

- количество смертельных случаев или травм вследствие пожара в год;
- количество смертельных случаев на миллион человек населения в целом;
- количество смертельных случаев на миллион человек, входящих в наиболее уязвимые группы (например, дети);
- количество смертельных случаев в здании в зависимости от конкретного назначения здания в соответствии с типом населенности или изменение в пределах не более чем (или по крайней мере) X смертельных случаев или Y травм в год;
- количество смертельных случаев в час за период времени, проведенный в здании;
- количество смертельных случаев внутри и вне помещения, в котором произошло возгорание;
- количество смертельных случаев вследствие вдыхания дыма, угарного газа, нехватки кислорода, токсичных веществ любого типа, повышенных температур или теплового излучения;
- количество смертельных случаев ежемесячно, по дням в неделю или по периодам времени в течение суток;
- частота возникновения пожаров, при которых время, необходимое для безопасной эвакуации превышает реально доступное для эвакуации время для X% людей, находящихся в здании;
- частота пожаров с более X смертельных случаев.

#### 5.2.2 ЗАЩИТА ИМУЩЕСТВА

5.2.2.1 Задачи по защите имущества могут включать в себя само здание (например, конструкцию, облицовку помещений, постоянную декоративную отделку), а также его содержимое (например, товары на складе, запасы, оборудование и аппаратура).

5.2.2.2 Задачи по защите имущества могут быть расширены и включать в себя защиту имущества соседей, которому может быть причинен ущерб в случае распространения пожара. При защите имущества упор может быть сделан на защиту от финансовых потерь, которые могут нести третьи лица, такие как страховые компании.

5.2.2.3 Показатели по защите имущества могут быть выражены в финансовых значениях, как правило, с использованием общих значений. Уточняющие значения могут использоваться для того, чтобы сделать упор на некоторые элементы потерь, например, общие потери вследствие пожара превышают подлежащие вычету

страховые выплаты или общие потери вследствие пожара превышают объем страхового покрытия. Финансовые показатели включают в себя:

- денежное выражение ущерба, нанесенного имуществу в год вследствие всех пожаров или по каждому из пожаров;
- стоимость замены поврежденного имущества;
- ущерб в виде процентного выражения от общей страховой стоимости;
- ущерб по каждому из пожаров или в год, связанный с прогнозируемым максимальным пороговым значением, таким как максимальный прогнозируемый ущерб.

5.2.2.4 Задачи по защите имущества могут быть выражены не только в финансовых показателях, но и в пространственных, таких как ограничение распространения пожара определенной зоной, связанной с источником возгорания. Кроме того, допускается сначала определить денежное выражение для общего допустимого ущерба (в финансовых показателях), а затем пойти в обратном направлении и определить максимально допустимую мощность пожара, исходя из прогнозируемой общей стоимости имущества на единицу площади и процентного выражения ущерба вследствие пожара. Пространственные показатели включают в себя:

- поврежденную площадь;
- количество поврежденных помещений;
- количество поврежденных этажей;
- количество поврежденных зданий;
- ущерб, нанесенный объекту, участку, помещению, отсеку, этажу или зданию, в котором произошло возгорание.

### 5.2.3 НЕПРЕРЫВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.2.3.1 Задачи, связанные с обеспечением непрерывности деятельности, связаны с продолжительностью прерывания процесса, деятельности в здании или сооружении, происходящее вследствие пожара.

5.2.3.2 Перед постановкой задач по обеспечению непрерывности деятельности необходимо определить, каким образом здание вписывается в общую картину, и насколько оно является важным для функционирования организации в целом, как с физической, так и с финансовой стороны. Как правило, для этого проводят анализ «что если...?» или обсуждение, чтобы выяснить, каким образом можно видоизменить деятельность, чтобы компенсировать полное или частичное отсутствие здания или сооружения, его содержимого, процессов и деятельности, протекающих в нем, и персонала.

5.2.3.3 Показатели по непрерывности деятельности могут быть приведены напрямую в виде времени простоя либо чаще в виде материального ущерба или влияния простоя. К возможным показателям относятся:

- время простоя вследствие пожара по каждому из пожаров или в год;
- время простоя в сравнении с определенным максимальным пороговым значением, таким как недопустимый период утраты дела;
- время восстановления или замены после пожара;
- денежная стоимость простоя;
- количество дней простоя;
- материальный ущерб от простоя;
- ущерб от простоя, выраженный в процентном соотношении к общей страховой стоимости.

5.2.3.4 К факторам, которые необходимо учитывать, относятся:

- стоимость сооружения (например, здания или зданий, включая то, как оно оценивалась, восстановительную стоимость и время замены);
- стоимость оборудования (включая то, как оно оценивалось, восстановительную стоимость и время замены);
- стоимость материалов на складе (включая то, как и кем они оценивались);
- влияние ущерба в материальном выражении (например, восстановительная стоимость);
- влияние ущерба на канал поставок (например, восстановительная стоимость, стоимость конечного продукта, доход, чистый доход за вычетом стоимости, прибыль, сезонные факторы, влияющие на производство);
- влияние ущерба на потенциальные изменения в восприятии рынка (например, надежность, непрерывное обслуживание)
- стоимость аренды (например, здания, оборудования, запасов)

### 5.2.4 ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

5.2.4.1 Цели и задачи по защите окружающей среды, как правило, определяются в виде загрязнения среды (воздуха, воды, почвы), вреда, причиняемого представителям флоры и фауны (например, животным, растениям) или условиям экосистемы, которые должны поддерживаться либо должны быть восстановлены в случае их утраты.

К возможным мерам относятся:

- количество событий, связанных с выбросом опасных веществ во время или вследствие пожара;
- достигают ли сточные воды от систем тушения пожара или мероприятий по тушению пожара ближайшей уязвимой экосистемы, заболоченных территорий или водоносных пластов;
- достигает ли воздух, смешанный с дымом, или дым, содержащий конкретные опасные вещества, уязвимые объекты на месте пожара или за его пределами;
- денежное выражение затрат на очистку;
- площадь или объем загрязненной почвы, воды или конструкций;



- время, необходимое на восстановление или возвращение объекта в его первоначальное состояние;
- количество пострадавшего населения, представителей флоры и фауны.

5.2.4.2 Вред окружающей среде может быть нанесен пожаром либо в ходе производства, транспортировки, хранения или применения материалов для пожаротушения или пожарной безопасности. Необходимо пояснить, какие воздействия на окружающую среду рассматриваются в составе целей и задач по защите окружающей среды.

5.2.4.3 Показатели по окружающей среде могут быть изначально определены для отдельных загрязняющих веществ и/или видов, но количество потенциально значимых загрязняющих веществ и видов, которые необходимо рассмотреть, слишком велико, чтобы произвести выполнимый, всесторонний анализ при таком уровне детализации. Есть возможность преобразовать все рассматриваемые воздействия, используя распространенные шкалы оценки, основанные на масштабах, таких как восстановительная стоимость или пораженная зона.

5.2.4.4 Вред окружающей среде может быть нанесен на значительном расстоянии от места пожара. В связи с этим расчет распространения является важной частью оценки последствий в рамках данных задач, и расположение места пожара относительно уязвимых объектов является ключевым моментом при расчете рисков в плане защиты окружающей среды.

#### 5.2.5 СОХРАНЕНИЕ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

5.2.5.1 Культурные ресурсы представляют нематериальные или неэкономические ценности, которые могут быть невозможными, как в случае нанесения ущерба памятникам архитектуры и искусства и артефактам при пожаре, тушении пожара или нарушения системами пожарной безопасности аутентичности объекта. К возможным показателям относятся:

- количество пораженных объектов, имеющих статус культурного наследия;
- денежное выражение затрат на восстановление;
- время необходимое на восстановление или возвращение объекта в первоначальное состояние.

5.2.5.2 Задачи по защите культурного наследия должны выделять конкретные объекты или группы объектов или заданий, а также типы ущерба или вреда.

5.2.5.3 Показатели может быть трудно определить, и они могут быть качественными, например, отсутствие невозможного ущерба, связанного с определенным условием.

### 5.3 Восприятие риска как фактор при определении системы показателей и пороговых значений риска

5.3.1 Показатели естественным образом возникающего риска (например, смертельные случаи, денежные потери) могут не полностью отражать ценности заинтересованных лиц. Значимыми могут быть условия возникновения ущерба, и они могут оцениваться по-разному разными группами заинтересованных лиц. Кроме того, сводные показатели по ожидаемому значению риска могут не отражать ценности заинтересованных лиц, в частности, несклонность к риску.

5.3.2 Факторы, влияющие на восприятие риска, включают в себя:

- Осведомленность о риске. Незнакомым рискам (например, истощению озонового слоя) зачастую приписывается большая значимость по сравнению со знакомыми рисками (например, автомобильным авариям).
- Понимание риска. Плохо понятным рискам (например, травмы вследствие радиационного воздействия) зачастую приписывается большая значимость по сравнению с хорошо понятными рисками (например, риск получить перелом, если человек поскользнулся на льду).
- Научная неопределенность. Рискам с высокой научной неопределенностью (например, рекомбинантной ДНК) зачастую присваивается большая значимость, чем рискам с низкой научной неопределенностью (например, автомобильным авариям).
- Контролируемость риска. Рискам, воспринимаемым как нечто, не находящееся под личным контролем (например, остаточное количество пестицидов в продуктах), зачастую присваивается большая значимость, чем рискам, воспринимаемым как нечто, находящееся под личным контролем (например, вождение автомобиля).
- Добровольный характер риска. Рискам, воспринимаемым как нечто, имеющее недобровольный характер (например, употребление продуктов с остаточным количеством пестицидов), зачастую присваивается большая значимость, чем рискам, воспринимаемым как нечто, имеющее добровольный характер (например, курение).
- Сочувствие к отдельным слоям населения, подвергающимся риску. Рискам, связанным с воздействием на особо уязвимые слои населения (например, детей, инвалидов), зачастую приписывается большая значимость, чем рискам, связанным с воздействием на другие слои населения (например, людей с алкогольной или наркотической зависимостями).
- Страх. Рискам, воспринимаемым как особо болезненное или внушающее ужас воздействие, зачастую приписывается большая значимость.

### 5.4 Подходы к допустимости риска

#### 5.4.1 МАЛОЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ РИСК

5.4.1.1 Понятие малозначительного риска основано на допущении, что существует некий уровень риска, ниже которого нет необходимости беспокоиться. Идея заключается в том, что заинтересованные лица могут

договориться о пороговом значении для малозначительного риска и согласиться, что меры по снижению риска ниже этого значения не требуются.

5.4.1.2 Как правило, в достижении такого согласия возникают сложности. Например, если предлагаемое пороговое значение малозначительного риска формулируется в виде допустимого количества смертельных случаев, даже в течение длительного периода времени, будет очень сложно прийти к всеобщему согласию.

5.4.1.3 Если возникает неудобство, связанное с предлагаемым пороговым значением малозначительного риска, оно может быть выражено в виде сомнений или сложностей, связанных с порядком действий и допущениями, которые должны быть использованы в оценке риска для его сравнения с пороговым значением. К сложностям могут относиться некоторые вопросы восприятия риска, перечисленные выше, и подробное исследование степени завышенности оценки.

5.4.1.4 Например, пороговое значение малозначительного риска для оценки ожидаемого значения риска может быть недопустимым, если риск включает в себя (очень низкую вероятность) возможность события, ведущего к большому количеству смертельных случаев или причинению чрезвычайно большого ущерба имуществу. Например, большое количество смертельных случаев, приводящее к разрушению небольшого сообщества людей или достаточно большой ущерб имуществу, приводящий к разрушению части страховой отрасли, по всей вероятности, будут оцениваться в соответствии с совсем иными показателями.

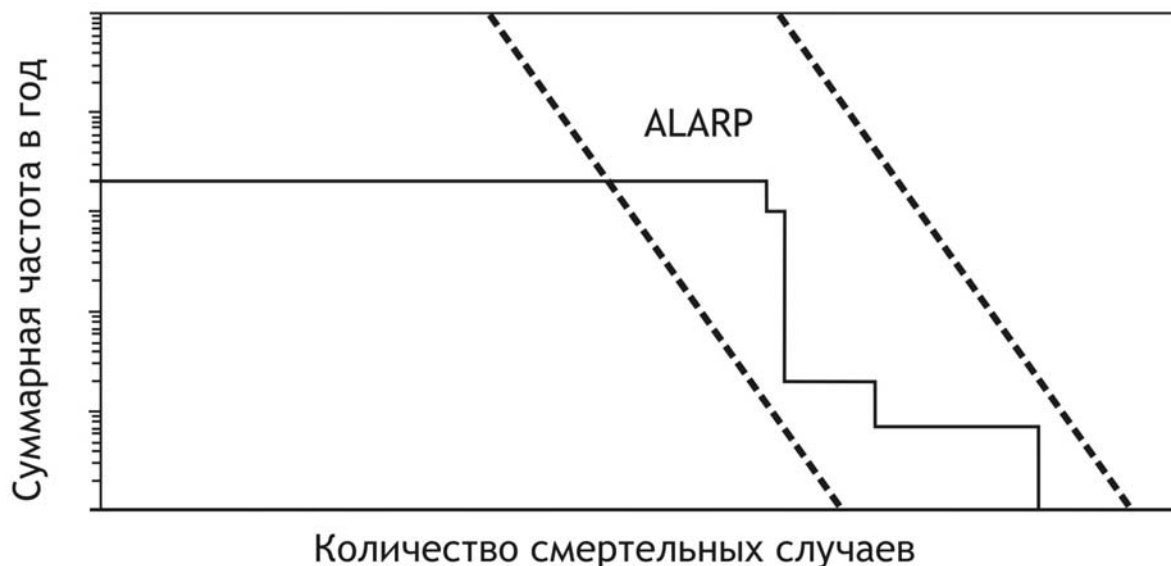
#### 5.4.2 МИНИМАЛЬНЫЙ ПРАКТИЧЕСКИ ПРИЕМЛЕМЫЙ РИСК (принцип ALARA/ALARP)

5.4.2.1 В случае когда пороговые значения малозначительного риска делят все возможные варианты на допустимые и недопустимые, основываясь исключительно на расчетном риске, принцип ALARA/ALARP добавляет область возможных вариантов, при которых риск может быть допустимым, если оценивается в сопоставлении с затратами на снижение риска или другими факторами вне риска. Оценка затрат определяет разницу между тем, что допустимо и тем, что вполне допустимо.

5.4.2.2 На рис.5-1 принцип ALARP представлен в графической форме. Возможные варианты в зоне слева от левой пунктирной линии являются допустимыми, а возможные варианты в зоне справа от правой пунктирной линии являются недопустимыми. Возможные варианты в зоне между двумя пунктирными линиями требуют дальнейшего изучения с целью перемещения их вниз и влево от сплошной линии ALARP.

#### 5.4.3 СРАВНЕНИЕ РИСКОВ

5.4.3.1 При сравнении рисков рассчитанный риск оценивается не в сравнении с постоянным пороговым значением допустимости, а в сравнении с расчетными рисками для возможных вариантов действий. Сравнение рисков – это подход, который иногда используется, когда возникает сложность в достижении договоренности относительно мер риска. Вместо использования абсолютного порогового значения договоренность достигается, основываясь на оценке, которая показывает, что более низкий уровень риска в сравнении с риском для других возможных вариантов действий или более низкий, чем риск для некоторой несоотносимой ситуации, уже считается допустимым.



**Рис. 5-1. Пример использования принципа ALARP при оценке пожарного риска**

5.4.3.2 В первую версию сравнения рисков входит отрицание полностью доминируемых возможных вариантов из совокупности возможных вариантов действий. В результате могут остаться несколько недоминируемых возможных вариантов. Примером такого рода сравнения рисков может быть сравнение вариантов проекта, в одном из которых упор делается на пожарные спринклеры, а в другом – на обнаружение пожара и деление на отсеки в плане их способности привести к низкому уровню риска.

5.4.3.3 Ко второй версии сравнения рисков, например, может относиться сравнение расчетного риска для проекта с нормальными рисками, с которыми встречается заинтересованное лицо во время вождения автомобиля или находясь в автомобиле в качестве пассажира. При таких сравнениях важно учитывать различия, значимые при восприятии риска (см. п.5.3 выше), чтобы сравниваемые риски рассматривались заинтересованными лицами как обоснованно сравнимые.

## 6. ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ

### 6.1 Определение опасных факторов

6.1.1 Цель определения опасных факторов заключается в том, чтобы помочь в разработке сценариев пожара (глава 7), которые приводят к возникновению нежелательных воздействий, после чего осуществляется выбор сценариев для использования в оценке (глава 8).

6.1.2 Угроза, которую представляет опасный фактор, является соответствующей основой для определения сценария пожара или типа сценария, который стоит рассмотреть.

6.1.3 Определение опасных факторов должно осуществляться в рамках целей и задач, описанных в главах 4 и 5.

6.1.4 Основными опасными факторами, чье воздействие определяется и оценивается при оценке пожарного риска, являются пожароопасность и воздействия пожара, как правило, связанные с горением огнеопасных или горючих материалов или конструкций, тепловым воздействием, воздействием дыма и токсичных газов, а также других угроз, связанных с пожаром (см. более полное описание в п.6.5). Могут существовать другие «способствующие опасные факторы», но, как правило, они проявляются либо напрямую как способствующее опасное событие (например, землетрясение) или как способствующий фактор, когда опасность снижает надежность стройматериалов, конструкций, оборудования, систем или человеческую реакцию (например, влияние повреждения несейсмостойких креплений на работу спринклеров).

### 6.2 Опасный фактор в сопоставлении с событием

6.2.1 Как описано в главе 2, опасный фактор - это условие или физическая ситуация, которые могут нанести вред. Как таковой опасный фактор является характеристикой чего-либо. Если опасный фактор связан с физическим объектом, он обычно более конкретно определяется как физическое или химическое состояние (такое как горючее твердое тело или легковоспламеняющаяся жидкость.) Если опасный фактор связан с человеком или группой, он обычно определяется в форме знания, отношения или убеждения, что он характеризуется как реакция или надежность поведения или действий людей в ходе события (такого как невозможность эвакуироваться в течение заданного периода времени). Кроме того, как описано в главе 2, пожароопасность - это основной опасный фактор, вероятность ущерба от которого увеличивается при непредусмотренном пожаре.

6.2.2 Если вероятность возникновения нежелательных последствий проявляется в действительности, то возникает «событие». Сценарий пожара представляет собой явление пожара, описанное в виде последовательности событий. Более подробная информация о событиях приведена в главах 7 и 8.

6.2.3 В сценарии пожара последнее событие называется «результатом». В контексте данного руководства единственным значимым результатом считаются результаты, имеющие отношение к пожару.

6.2.4 Нежелательные последствия, как правило, связаны с результатом, но они также могут быть связаны и с предшествующими событиями.

6.2.5 Ниже приведены примеры типов событий в порядке вероятности их возникновения.

- Пусковое событие, например, землетрясение или ремонтные работы. Это событие приводит к возникновению иницирующих условий и может повлечь за собой иницирующие события.
- Иницирующее событие, например, утечка легковоспламеняющейся жидкости из контейнера в подвальном помещении. Данное событие приводит к возникновению аварийных условий. Если эти условия не устранить, возникает вероятность возгорания.
- Профилактическое событие, например, сбой в работе детекторов, приводящий к тому, что утечка не была зафиксирована, или неспособность дренажной системы ограничить распространение пролитой жидкости. Данное событие разрывает либо не способно разорвать связь между иницирующим событием и событием возгорания.
- Событие возгорания, например, дуговой разряд от работающего в обычном режиме электрооборудования, приводящий к возгоранию пролитой жидкости. Вследствие данного события возникает пожар.
- Событие защиты, например, недостаточная защита с использованием огнетушительной пены. Данное событие обусловлено надежностью и функционированием на объекте компонентов и систем.
- Событие по тушению пожара, например, неудовлетворительное реагирование пожарного подразделения в связи с тем, что оно находится на большом расстоянии от места пожара. Данное событие обусловлено надежностью и эффективностью реакции людей на пожар.
- Результат, например, обрушение здания. Данное событие сочетает в себе степень тяжести пожара со степенью (не)защищенности в плане задач по созданию системы измерения причиненного ущерба.

### 6.3 Типы опасных факторов

6.3.1 Большинство опасных факторов, учитываемых при разработке сценариев, возникают извне и представляют собой испытание для проекта или конструкции. Помимо пожароопасности существуют иницирующие опасные факторы и способствующие опасные факторы.

6.3.2 Иницирующие опасные факторы – это опасные факторы, которые непосредственно или опосредованно приводят к событию возгорания. Их также можно назвать «опасными факторами возгорания». Примером непосредственного иницирующего опасного фактора является удар молнии. Опасные факторы, которые не приводят непосредственно к событию возгорания, можно назвать «иницирующими событиями», чтобы отличать их от опасных факторов, непосредственно вызывающих события возгорания.

6.3.3 Способствующие опасные факторы, которые не связаны с пожароопасностью, но могут приводить к последствиям большей степени тяжести, могут проявляться явным образом (например, разгерметизация котла высокого давления) или скрытым образом в качестве содействующего фактора (например, ураган, приведший к нарушению электроснабжения, и вследствие этого к отказу электрических пожарных водяных насосов). Эти способствующие опасности или факторы непосредственным или опосредованным образом увеличивают мощность или степень тяжести пожара и, как правило, приводят к нарушению эффективного функционирования систем или компонентов противопожарной защиты или условий или действий по тушению пожара. Способствующие опасные факторы, действующие опосредованно, как правило, связаны с надежностью в широком смысле этого слова.

6.3.3.1 Некоторые условия, связанные с надежностью в широком смысле этого слова, может быть легче сформулировать не в описании параметров сценариев, а в технических требованиях к проектированию или стратегии. Последние должны отражать не то, что предназначалось или изначально было установлено, а те реальные условия, которые существуют на момент пожара. Примерами могут служить изменение населенности или изменение пожарной нагрузки в складском помещении, что в свою очередь может привести к недостаточной эффективности работы спринклеров.

6.3.3.2 В некоторых программах по проверке, ремонту и техническому обслуживанию или соответствию нормам, используемых для увеличения надежности (в широком смысле этого слова), может применяться термин «недостаточность» в отношении условий, наблюдаемых в области, отличающейся от обязательных номинальных условий. Тем не менее, термин «недостаточность» имеет дополнительные оттенки значения, которые делают его неподходящим для использования в качестве термина для описания типа опасности или типа условий, создающих дополнительные возможности причинения вреда. Однако, если для существующих сооружений наблюдается несоответствие условий эксплуатации цели проекта, когда нарушаются предназначенные программы, в этом случае условия эксплуатации приведут к снижению надежности таких программ при возникновении события.

6.3.4 Уязвимости являются условия или характерные особенности, которые могут приводить к более серьезному воздействию пожара установленной физической мощности или степени тяжести. Уязвимости проявляются не как изменения в самом пожаре, а как изменения в степени вреда, наносимого тому, кто или что подвергается воздействию пожара. В связи с этим, для описания уязвимостей более точным может оказаться использование иного, чем «опасность» термина, например, «осложняющий фактор». Независимо от того, как их называть, уязвимости необходимо учитывать при разработке сценариев. Примером такой уязвимости являются различия во времени реагирования людей на пожар ночью во время сна и временем реагирования днем в период бодрствования. Еще один пример – эпидемиологическая реакция на пожар малышей в сравнении с реакцией взрослых людей.

6.3.5 Некоторые способствующие опасные факторы могут возникать в результате пробелов в технических условиях на проектирование. Они могут быть связаны с характерными особенностями здания, которые не были признаны существенными для поведения конструкций при пожаре, и потому не были заданы при проектировании. Кроме того, опасности могут возникать в связи с тем, что строительство, техническое обслуживание и ремонт или иная деятельность ведется не в точном соответствии с проектом либо недостаточно эффективно.

## **6.4 Процесс выявления опасных факторов**

6.4.1 Процесс выявления опасных факторов, как правило, включает в себя анализ пожаров в зданиях с аналогичной населенностью, критический анализ здания или иного рассматриваемого помещения или (если осуществляется на этапе проектирования, когда само здание еще не существует) аналогичной населенности и инженерной оценке противопожарной защиты. Анализ прошедших пожаров логически является первым шагом в этом процессе, но маловероятно, что при прошедших пожарах были задействованы все возможные опасные факторы.

6.4.2 Выявление опасных факторов посредством систематического анализа опасностей включает в себя подробный анализ технического и программного обеспечения систем, среды, в которой будет существовать система, и предполагаемого использования или применения.

6.4.3 Как правило, рассматриваются и используются данные о прошлых опасностях и сценариях, включая уроки, усвоенные на примере других систем.

6.4.4 Важно выявить не только те опасные факторы, которые представляют угрозу в настоящий момент, но и опасные факторы, возникавшие в прошлом, которые могут появиться снова, а также опасности, которые могут появиться в будущем (например, будущие наборы горючих материалов).

6.4.5 В процессе выявления опасных факторов необходимо определить иницирующие опасные факторы, способствующие условия и уязвимости, описанные в пп. 6.5-6.7.

## **6.5 Иницирующие опасные факторы**

### **6.5.1 ТЕПЛОВЫЕ ИСТОЧНИКИ**

Один из типов инициирующих опасных факторов определяется на основе типа теплового источника и ассоциированного статуса этого теплового источника.

#### 6.5.1.1 Типы тепловых источников

Любой объект, который выделяет количество теплоты достаточное для возгорания горючих материалов, основываясь на их близости и воспламеняемости, представляет тем самым инициирующий опасный фактор, который может привести к непредусмотренному пожару. К возможным тепловым источникам могут относиться источники конкретного типа, присущие оцениваемому зданию и деятельности, осуществляемой в нем или типичные тепловые источники, характерные для любого здания. К таким опасным факторам относятся:

- сигареты или другие материалы для курения (например, зажигалки, спички);
- горелка, приборы для горячей обработки или другие приборы с открытым пламенем;
- отопительное, охлаждающее оборудование и оборудование для кондиционирования воздуха;
- кухонное оборудование;
- оборудование и бытовая техника;
- технологическое и сервисное оборудование, включая отдельные моторы или двигатели внутреннего сгорания;
- электрическое распределительное оборудование (например, электропроводка, выключатели, розетки, кабели и штепсельные вилки, осветительная арматура, трансформаторы);
- горячие предметы, большинство из которых также попадают в одну из вышеуказанных категорий, такие как электрическая лампочка или нагревшаяся поверхность нагревательного оборудования;
- незащищенность от возгорания или статического электричества;
- химические вещества, склонные к спонтанному нагреву;
- лесные пожары или иное воздействие огня извне.

#### 6.5.1.2 Статус теплового источника

Статус теплового источника является составным элементом в относительной возможности опасного фактора инициировать непредусмотренный пожар; следовательно, у выявленных инициирующих опасных факторов также должен быть определен их статус, чтобы помочь в оценке частоты (см. главу 10). К условиям, связанным со статусом тепловых источников, которые могут увеличить возможность возникновения пожара, относятся:

- физически поврежденное оборудование или иной поврежденный тепловой источник;
- неправильно спроектированное оборудование или иной тепловой источник (например, сигарета с усиленной способностью к возгоранию);
- неправильно установленное оборудование или иной тепловой источник;
- неправильно используемое или применяемое оборудование или иной тепловой источник (например, перегруженное оборудование, использование удлинительных шнуров в качестве постоянных удлинителей к электропроводке, использование оборудования, непригодного к применению);
- оборудование или иной тепловой источник, которые проявляют признаки перегрева при обычном использовании (например, при прикосновении, появлении запаха или дыма).

#### 6.5.1.3 Способствующие опасные факторы, создающие тепловые источники

Некоторые способствующие опасные факторы сами по себе не являются тепловыми источниками, но являются опасными факторами, которые могут приводить к созданию тепловых источников. Землетрясения или наводнения могут вызвать повреждение контейнеров или трубопроводов и утечку легковоспламеняющихся жидкостей или газов, а также приводить к повреждению электрооборудования и короткому замыканию. Кроме того, наводнения могут приводить к непосредственному возгоранию реагирующих с водой химических веществ или твердых веществ. При землетрясениях может происходить опрокидывание незакрепленных газовых водонагревателей, печей или промышленных теплообменников. При наводнениях воспламенители в газовых печах или печах, работающих на жидком топливе, или нагревательных приборах в низкорасположенных зонах могут периодически гаснуть, вызывая отсроченное воспламенение газа в замкнутых пространствах. К таким естественным или иным опосредованным опасным факторам относятся:

- землетрясение;
- шторм (например, ураган, торнадо, дождь, снег, град);
- наводнение;
- иные природные опасности;
- столкновение транспортных средств.

Условия, создающие тепловые источники, необязательно делают это внезапно или вследствие катастроф. Например, несильный, но непрерывный дождь может привести к попаданию воды в недостаточно хорошо изолированный кабелепровод или распределительную коробку, что может привести к короткому замыканию.

#### 6.5.2 ИСТОЧНИКИ ТОПЛИВА

Один из типов пожароопасности определяется на основе типа начального источника топлива и ассоциированного состояния этого топлива.

##### 6.5.2.1 Типы источников топлива

Любой воспламеняемый предмет, способный к возгоранию от теплового источника при условии близости к нему и мощности выделения тепла, представляет собой пожарную опасность, поскольку может привести к нежелательному пожару. К возможным источникам топлива могут относиться источники конкретного типа, присущие оцениваемому зданию и деятельности, осуществляемой в нем, или типичные источники топлива,

характерные для любого здания. К таким опасным факторам, определяемым сочетанием цели объекта с его структурой, относятся:

- мягкая мебель;
- матрасы, постельное белье, одежда или иная текстильная продукция;
- деревянная мебель или элементы конструкции, подверженные воздействию;
- книги, журналы, бумаги или обычный мусор;
- легковоспламеняющиеся или горючие жидкости или газы;
- пластиковые футляры приборов или иные пластиковые компоненты содержимого или мебели и бытового оборудования;
- источники воспламеняемой пыли (которая может быть растворена в воздухе или лежать на поверхностях);
- хранящиеся на складе горючие материалы;
- запасы чистящих средств;
- облицовка помещения (покрытие потолков, стен или пола);
- скрытые горючие материалы (например, изоляция, электропроводка);
- химические вещества в процессе химической реакции.

#### 6.5.2.2 Состояние топлива

Состояние топлива является составным элементом в относительной возможности опасного фактора инициировать непредусмотренный пожар; в связи с этим у выявленных типов пожароопасности должно быть также определено их состояние, чтобы помочь в оценке частоты (см. главу 10). К таким состояниям, которые могут увеличивать возможность возникновения пожара, относятся:

- близость к тепловым источникам;
- дефектная конструкция, увеличивающая возможность возгорания или ухудшающая функционирование при пожаре в случае, если произошло возгорание;
- возгораемость формы (например, твердая по сравнению с жидкой или газообразной; твердая по сравнению с порошкообразной или стружкообразной формой);
- ущерб, нанесенный горючим материалам до возгорания (например, умышленная порча мягкой мебели, приводящая к тому, что набивочный материал оказывается снаружи), что повышает возможность возгорания или снижает функционирование предмета в случае пожара, если произошло возгорание;
- наличие или отсутствие огнезащитных преград (например, контейнеризация, запирающие слои);
- наличие или отсутствие огнезащитной обработки.

#### 6.5.3 ОПАСНЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Любой вид деятельности или поведение, которые делают возгорание более возможным, представляют собой инициирующий опасный фактор. К таким видам деятельности и такой среде относятся:

- нарушение требований к процессу горячей обработки или иным процессам и видам деятельности, подразумевающим активное использование потенциальных тепловых источников;
- нарушение требований безопасности (например, свободный доступ для поджигателей, как действующих умышленно, так и без злого умысла);
- неадекватное техническое обслуживание (например, рост вероятности отказа оборудования);
- неадекватная подготовка персонала по вопросам безопасности.

#### 6.5.4 ОПАСНАЯ СРЕДА

Любое условие или среда, которые способствуют или содействуют опасным действиям или приводят к снижению статуса теплового источника или ухудшению состояния топлива, с большой вероятностью является опасной средой, а, следовательно, инициирующим опасным фактором. Такая среда проявляется не в виде возгорания, а в виде событий, которые создают опасности, проявляющиеся в виде возгорания. К такой среде и действиям относятся:

- объекты, привлекающие внимание вандалов, потенциальных террористов или поджигателей (например, объекты с потенциальной возможностью совершения противоправных действий);
- среда, насыщенная кислородом;
- незащищенность от вреда, причиняемого землетрясением, наводнением или иной естественной опасностью.

### 6.6 Способствующие факторы

#### 6.6.1 ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАДЕЖНОСТЬЮ

К этим факторам относятся:

- вероятностный потенциал отказа действующих систем противопожарной защиты (например, спринклеров, детекторов, систем дымоудаления) и элементов пассивной противопожарной защиты (например, противопожарных стен);
- вероятность того, что персонал не сможет совершить эффективные действия по тушению пожара.

#### 6.6.2 БЫСТРЫЙ РОСТ ИЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЖАРА

К этим факторам относятся:

- хранящиеся на складе или используемые в технологическом процессе воспламеняющиеся или горючие жидкости или газы;
- облицовка помещения или большие предметы, способствующие высокой скорости распространения пламени;

- характерные особенности, количество и расположение возможных наборов горючих материалов.

## **6.7 Уязвимости**

6.7.1 Выявление уязвимостей требует понимания механизмов воздействия, т.е. способа которым физические описываемые свойства и типы воздействий пожара сочетаются с основными характеристиками объектов, подвергаемых воздействию (например, людей, имущества), приводя к определенному уровню воздействия.

6.7.2 В случае пожара распространенными механизмами воздействия являются тепловое воздействие и горение.

6.7.3 В случае взрывов к воздействию относится избыточное давление в ответ на нагрузку.

6.7.4 В случае задымления при пожаре к воздействиям относятся токсичность или кислородная недостаточность.

6.7.5 К уязвимостям относятся:

- особая восприимчивость людей, находящихся в здании (например, вследствие инвалидности, связанных с возрастом ограничений, приема наркотиков или алкоголя, ограниченных способностей к обучению или соблюдению правил безопасности);
- большое количество или большая плотность людей, находящихся в здании;
- незащищенность имущества (например, чистые комнаты, легко загрязняемые вещества, такие как лекарственные препараты, деликатные ткани, музейные экспонаты);
- особая незащищенность деятельности (например, отсутствие альтернативных источников для редких товаров);
- незащищенность конструкции от обрушения вследствие пожара;
- незащищенность от радиационного выброса, связанного с разгерметизацией, вызванной пожаром;
- незащищенность соседней инфраструктуры (например, коммуникаций, сети электроснабжения, дорожной сети, газо- и водоснабжения).

## **6.8 Способы выявления опасных факторов**

6.8.1 Практикующие специалисты могут применять несколько способов или методов для осуществления оценки опасных факторов, некоторые элементы которой могут помочь в выявлении опасных факторов. Они включают в себя перечисленные ниже способы, но не ограничиваются ими.

6.8.2 Исследование опасности и работоспособности (HAZOP).

Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) осуществляется специально подобранной командой специалистов, которые систематически проводят пошаговое исследование объекта, и проверяют, как отклонения от нормальных расчетных величин и эксплуатационных параметров повлияют на ситуацию. Взаимодействие между членами команды опирается на использование стандартной терминологии и выборов для наблюдаемых условий и других переменных. Затем принимается решение об устранении недостатков.

6.8.2.1 Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) требует наличия подробного описания проекта (современная инженерно-техническая документация, линейные диаграммы, виды в плане и т.п.) и исчерпывающие практические знания о планах эксплуатации.

6.8.2.2 Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) обычно проводится командой, которая включает в себя проектировщиков и операторов оборудования (включая персонал завода, персонал по обеспечению технологического процесса, персонал по техническому обслуживанию и ремонту и персонал по работе с контрольно-измерительной аппаратурой), а также инженера по технике безопасности/начальника службы техники безопасности.

6.8.2.3 К методам выявления опасных факторов, аналогичных исследованию опасности и работоспособности (HAZOP), относятся: метод выявления опасных факторов HAZID и часть анализа опасных факторов HAZAN, касающаяся последствий.

6.8.3 Анализ характеров и последствий отказов (FMEA)

В то время как метод HAZOP и аналогичные ему методы выявляют опасные факторы, при анализе характеров и последствий отказов (FMEA) оценивается причина опасного фактора на основе знаний об отказе оборудования, режиме ошибок или механизмах разрушения.

6.8.3.1 Анализ характеров и последствий отказов (FMEA) состоит из оценки последствий отказа каждого компонента в каждом из возможных характеров. Процесс состоит из определения характеров отказов всей системы (как правило, более одного) и затем составления списка характера отказов каждого из компонентов, которые способствуют отказу всей системы. Затем каждому характеру отказов на уровне каждого компонента присваиваются баллы и подсчитывается их сумма для каждого из характеров отказов всей системы.

6.8.4 ДЕРЕВО КОНЦЕПЦИЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В документе NFPA 550 «Руководство по дереву концепций пожарной безопасности» [12] описано «дерево исправностей», т.е. понятие обратное «дереву отказов». В нем определены все возможные стратегии достижения успеха в выполнении задач пожарной безопасности. С помощью дерева концепций пожарной безопасности могут быть определены средства уменьшения любой пожарной опасности.

6.8.5 АНАЛИЗ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ (FTA)

Результаты анализа характера и последствий отказов (FMEA) часто включены в графическую сетевую модель, известную как дерево отказов. Этот метод выявляет все вероятные пути возникновения конкретного нежелательного события. Он описывает различные параллельные и последовательные комбинации отказов, которые приводят к предварительно заданному нежелательному событию. Эти отказы могут быть связаны с иницирующими событиями, отказами компонентов технического обеспечения или ошибками оператора. Де-

рево отказов отражает логические взаимосвязи основных событий, приводящих к событию на самой вершине дерева – к нежелательному событию. Более подробная информация об анализе методом отказов представлена в «Руководстве по дереву отказов».

#### 6.8.6 Анализ «что если...?»

Анализ «что если...?» является упрощенным методом, состоящим в задавании вопросов о том, что произойдет при возникновении конкретного отказа (например, отказа оборудования или нарушения процессов) или события. Ответом является мнение заинтересованных лиц, основанное на имеющихся у них знаниях. Процесс может быть активизирован посредством мозгового штурма с участием большого количества заинтересованных лиц. Последовательность метода обеспечивается посредством использования стандартных вопросов, касающихся деятельности, условий и характеров отказа оборудования. Принимается решение о соответствующих мерах по устранению недостатков. В команду, осуществляющую анализ возможных вариантов, обычно входят проектировщики и операторы оборудования (включая персонал завода, персонал по обеспечению технологического процесса и персонал по работе с контрольно-измерительной аппаратурой), а также инженера по технике безопасности/начальника службы техники безопасности.



## 7. СЦЕНАРИИ ПОЖАРА

### 7.1 Общие положения

7.1.1 Целью данной главы является предоставление рекомендаций по процессу разработки сценариев пожара. Сценарии пожара разрабатываются на основе определения исходных опасных факторов (см. главу 6). Полученные сценарии формируют основу для структур сценариев, выбранных в соответствии с описанием в главе 8 для использования в процессе количественной обработки риска.

7.1.2 Сценарий пожара представляет собой качественное, основанное на временной последовательности, описание пожара, с указанием основных событий, характеризующих и отличающих данный пожар от других возможных пожаров. Следовательно, сценарий пожара представляет собой явление пожара, описанное в виде последовательности событий.

7.1.3 Как правило, события выражаются в виде исправной или неисправной работы инженерно-технических систем или систем жизнеобеспечения (перечень типов событий представлен в пункте 6.2.5).

### 7.2 Характеристики пожара, необходимые для описания параметров сценариев пожара

7.2.1 На данном этапе характеристики пожара остаются качественными в соответствии с определением «сценарий пожара», с акцентом на логических и временных связях и определением данных, необходимых для количественного выражения риска.

7.2.2 Ответив на следующие вопросы, можно задать параметры сценария через события и условия пожара, характерные для каждого события:

- a) Что является исходным тепловым источником, исходным источником топлива, и какого местонахождение источника возгорания, включая расстояние до потенциальных второстепенных наборов горючих материалов? Также необходимо учитывать возможность наличия нескольких источников возгорания, в которых задействованы несколько источников топлива и, возможно, несколько тепловых источников.
- b) Тление и воспламенение являются стадиями, а не типами пожара, и потому нельзя говорить, что стадия тления, какой бы длительной она ни была, наносит больший ущерб, чем сам пожар, частью которого она является.
- c) В соответствии с пунктом a), наблюдается ли стадия тления? Необходимо учитывать продолжительность данной и каждой последующей стадии.
- d) В соответствии с пунктами a) и b), наблюдается ли небольшая стадия открытого воспламенения, при которой единственным горящим предметом является первый источник топлива?
- e) Наблюдается ли распространение пожара на второстепенные предметы или, если применимо, наблюдается ли значительное распространение огня по поверхности, например, вдоль стены или по верхней части дивана?
- f) Достигает ли пожар стадии вспышки и/или стадии полного охвата пламенем всего первого отсека или закрытого пространства, например, пассажирского салона самолета?
- g) Наблюдается ли распространение пожара во второе помещение, отсек или зону, например, в скрытое пространство или наружную зону?
- h) Наблюдается ли распространение пожара на второй этаж или уровень, например, на второй этаж автобуса?
- i) Наблюдается ли распространение пожара за пределы здания, сооружения, транспортного средства или другого источника возгорания?
- j) Наблюдается ли в итоге самостоятельное затухание пожара, или его удастся потушить с помощью активных мероприятий?
- k) Каково состояние всех важных пассивных и активных систем противопожарной защиты? Этот пункт частично помогает установить, осуществлялось ли надлежащее техническое обслуживание, проверка и надзор. Наблюдается ли в какой-то момент времени полный или частичный отказ устройств или систем? Как правило, расчет функционирования устройств и систем не входит в описание параметров сценария, тем не менее, он производится.
- l) Вне зависимости от воздействия пожара, будет ли наблюдаться изменение исходных условий в ходе пожара, например, изменение направления и скорости ветра?
- m) Происходят ли какие-либо другие события (например, поведение людей, такое как эвакуация или тушение пожара), которые влияют на течение пожара или на степень воздействия пожара на людей? В случае возникновения поведенческих событий, каковы знания, навыки, отношение, убеждения, восприимчивость и местонахождение пользователей здания или других людей на момент начала пожара? Знания, навыки, отношение и убеждения отражают уровень подготовки и культуры в сфере безопасности.
- n) Каковы последствия пожара, например, кто и что подверглось воздействию пожара, и какова степень ущерба?

7.2.3 В главе 5 представлены важные типы последствий (степени воздействия) в соответствии с подпунктом 7.2.2 (m).

7.2.4 Необходимо учитывать отказ пассивных противопожарных систем до возгорания (например, блокирование огнестойкой двери в целях удобства передвижения людей по зданию или наличие отверстий в стенах, сделанных в ходе строительства и оставленных открытыми) или во время пожара (например, проникновение огня через стену или огнестойкую дверь). Аналогичным образом, необходимо учитывать отказ активных систем противопожарной защиты до возгорания (например, отключение пожарного извещателя по причине наличия раздражающего фактора при ложном срабатывании или отключение спринклера на время ремонтных работ и оставление его в отключенном состоянии после ремонта) или во время пожара (например, невозможность спринклера потушить пожар, возникший вне зоны действия спринклера).

7.2.5 Также необходимо рассматривать наиболее распространенные вероятные причины возгорания и одновременного отказа нескольких устройств и систем (например, землетрясение или наводнение).

#### 7.2.6 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ СЦЕНАРИЕВ

За короткий промежуток времени может произойти несколько событий, например, вспышка, прибытие пожарных подразделений и эвакуация людей. В связи с тем, что расчет времени каждого события будет обусловлен неопределенностью, может меняться реальная последовательность событий, поэтому важно рассматривать аналогичные сценарии с разными последовательностями событий.

### 7.3 Использование определения опасных факторов в описании параметров сценариев

(Приведенные ниже буквенные обозначения соответствуют пункту 7.2.2.)

7.3.1 С помощью представленной в главе 6 информации можно определить инициирующие опасные факторы, способствующие условиям, а также уязвимости.

7.3.2 Инициирующие условия, представляющие собой угрозу возгорания, дают ответы на вопросы из подпункта (а), а, следовательно, и на вопросы из подпунктов (b) и (с).

7.3.3 Способствующие условия дают ответы на некоторые или все вопросы из подпунктов (с) – (k). В частности, способствующие условия, относящиеся к надежности, повлияют на ответы на вопросы (j) и (i) соответственно.

7.3.4 Уязвимости дают информацию, касающуюся подпункта (m), при расчете того, как степень воздействия преобразуется в степень тяжести ущерба. По возможности, здесь также учитываются другие характеристики пользователей здания, относящиеся к подпункту (l).

7.3.5 Если на какой-то вопрос из подпунктов (а) - (m) невозможно дать ответ, исходя из наличия или отсутствия конкретных опасных факторов, ответ формулируется на основе технических требований к проектированию в виде характеристики здания.

## **8. СЦЕНАРИИ ПОЖАРА**

### **8.1 Общие положения**

8.1.1 Глава 7 посвящена определению неподдающегося обработке большого количества потенциально важных сценариев пожара. Целью данной главы является предоставление рекомендаций по выбору поддающегося обработке количества сценариев и созданию структуры сценариев таким образом, чтобы из всех представляющих интерес сценариев производилась выборка показательных сценариев. Кроме того, в данной главе рассматривается количественное выражение выбранных сценариев, а также шаги, которые нельзя предпринимать до сокращения количества сценариев.

8.1.2 Структура сценариев состоит из совокупности групп (кластеров) сценариев, каждая из которых имеет свой собственный показательный сценарий пожара, в которой группы сценариев не совмещаются между собой и вместе включают в себя все сценарии, представляющие интерес.

### **8.2 Группы (кластеры) сценариев**

8.2.1 Группы (кластеры) сценариев представляют собой группы сценариев, имеющих несколько (но не все) общих определяющих характеристик. Объединение сценариев в группы (кластеры) необходимо потому, что любой сценарий, подробно описанный в целях проведения инженерного анализа его последствий, оказывается настолько подробным, что частота его возникновения будет незначительно мала. Значение частоты для группы (кластера) сценариев представляет собой сумму частот всех входящих в группу сценариев.

8.2.2 При анализе пожарного риска частоты определяются для групп (кластеров) сценариев, а последствия - для показательных сценариев пожара (см. п.8.3) из этих групп (кластеров). (Это осуществляется на основе рекомендаций по данным, представленным в главе 9, методам оценки частоты – в главе 10, а также методам оценки последствий – в главе 11.)

8.2.3 Примером различий между сценариями и группами (кластерами) сценариев является уровень детализации. Параметры сценария могут быть заданы на основе исходного теплового источника и местонахождения источника возгорания, например: спичка (в качестве теплового источника) и верхняя поверхность подушки стула с мягкой обивкой, стоящего у внешней стены гостиной (в качестве местонахождения источника возгорания). Параметры группы (кластера) сценариев могут быть заданы на основе любого исходного теплового источника, представляющего собой небольшое открытое пламя, и любого местонахождения источника возгорания в стандартно заполненном помещении.

8.2.4 Приведем еще один пример. В сценарии могут быть заданы конкретные эксплуатационные показатели активной системы пожаротушения. Группа (кластер) сценариев может представлять собой подгруппу пожаров с одинаковыми источниками возгорания и любыми эксплуатационными показателями активной системы пожаротушения, которые могут считаться отказом системы. В этом случае объединение сценариев в группы (кластеры) позволяет выполнить расчет вероятности отказа, который затем будет включен в анализ, связанный с событием отказа.

8.2.5 Группы (кластеры) сценариев являются основными элементами структуры сценариев при оценке пожарного риска. Каждая группа сценариев должна иметь широкий охват, чтобы в итоге все возможные сценарии пожара могли быть сгруппированы в общее количество групп (кластеров), поддающееся обработке. Только таким образом все возможные сценарии могут быть включены в расчеты пожарного риска, не создавая при этом невероятно большую вычислительную нагрузку. Количество групп (кластеров) сценариев увеличивается в геометрической прогрессии по мере увеличения количества отличительных определяющих характеристик и количества диапазонов или значений каждой из характеристик.

### **8.3 Показательные сценарии пожара**

8.3.1 Для каждой группы (кластера) сценариев должен существовать показательный сценарий. Усредненное последствие для группы (кластера) сценариев рассчитывается как последствие расчетного пожара, основываясь на показательном для группы сценарии пожара. Расчет последствия для показательного сценария пожара аналогичен описанию параметров и инженерному анализу расчетного пожара.

8.3.2 Любой опасный фактор может привести к небольшому или масштабному, медленному или быстро распространяющемуся пожару. Важно, чтобы показательный сценарий пожара отражал все сценарии в группе (кластере), особенно в плане итоговой мощности и степени тяжести пожара, а также в плане тех проблем, которые представляет пожар для проекта. Этого будет сложно добиться, если диапазон сценариев в группе очень широк и варьируется от наименее тяжелого до наиболее тяжелого пожара.

8.3.3 Сценариями, представляющими наибольшую сложность, являются сценарии, подразумевающие высокую тяжесть последствий. Если они входят в группу (кластер) сценариев, в которой большинство сценариев подразумевают значительно меньшую тяжесть последствий, их влияние на усредненное последствие для группы (кластера) может оказаться заниженным. Однако, создание группы (кластера), состоящей исключительно из сценариев с наиболее тяжелыми последствиями может привести к тому, что эта группа (кластер) будет иметь очень неопределенную частоту, которая кажется настолько низкой, что ее можно не учитывать, но на самом деле может не являться таковой.

8.3.4 Необходимо учитывать промежуточные контрольные точки, чтобы избежать двойных ошибок в плане недооценки риска в случае со сценарием с высокой тяжестью последствий, потому что он скрыт в группе (кластере) со многими сценариями, имеющими менее серьезные последствия, или потому что кажется, что его

частота настолько мала, что ее можно не учитывать, хотя при точечном расчете она может оказаться не настолько малой. Примером могут служить сценарии близкие к сценариям наихудшего случая, описываемые в процентном отношении (например, 90%, 70%, 50%, 20%) от последствий, связанных с выбранными сценариями наихудшего случая. Помимо этого необходимо учитывать, есть ли достоверные сценарии, которые имеют такой уровень последствий и также имеют достаточно высокую частоту, чтобы их подробный анализ был обоснованным.

8.3.5 Утвержденным подходом к выявлению сценариев с высокой тяжестью последствий, которые достойны рассмотрения, является подход «максимального прогнозируемого ущерба», который используется в секторе страховой отрасли, предусматривающем высокую степень защиты от рисков. В рамках данного подхода исследуется сценарий, при котором все формы противопожарной защиты демонстрируют одновременный отказ, в максимально возможной степени, в соответствии с накопленным опытом и наилучшими имеющимися техническими данными. Максимальный отказ означает отказ, при котором возникает наиболее тяжелое воздействие (или последствия) в сочетании со всеми другими отказами. В случае со сложными взаимодействующими системами не всегда очевидно, какой тип или степень отказа отдельной системы приведет к максимальному воздействию.

8.3.6 Сходные опасные факторы могут быть сгруппированы (т.е. имеются в виду опасные факторы, которые вызывают аналогичные типы и масштаб ущерба аналогичными путями посредством аналогичных механизмов), и эти группы могут использоваться для определения возможных групп (кластеров) сценариев пожара. Отдельные опасные факторы могут использоваться для определения возможных показательных сценариев пожара внутри групп (кластеров).

8.3.7 При описании параметров показательных сценариев пожара не всем характеристикам следует приписывать типовые значения, и ни одной из характеристик не должны быть присвоены только типовые значения во всех сценариях. В противном случае, некоторые из наиболее тяжелых сценариев будут утрачены. Следует использовать инженерную оценку, не дающую ошибки в опасную сторону.

8.3.8 С другой стороны, наиболее тяжелый, по всей видимости, пожар (например, наиболее быстро распространяющийся, самый мощный) не следует автоматически считать приводящим к наиболее тяжелым последствиям. Тяжесть условий пожара на ранней стадии может оказаться менее важной в отношении результата, чем тяжесть условий пожара при срабатывании активных систем (например, пожар небольшого количества пролитой горючей жидкости может распространиться на второстепенные виды топлива до того, как произойдет срабатывание спринклеров, в то время как при большом пожаре пролива срабатывание спринклеров может произойти еще на этапе горения самой пролитой жидкости).

## **8.4 Количественный анализ сценариев пожара**

8.4.1 Как правило, сценарий пожара подвергается количественной обработке единственным путем на основе использования дерева событий, дерева отказов или их сочетания. В данной главе сценарии заданы исходя из их исходного качественного описания вплоть до подробных логических и/или временных последовательностей событий. Все, что далее остается для получения их количественного выражения, является расчет частот и вероятностей (см. главу 10), последствий (см. главу 11) и риска (см. главу 12).

8.4.2 В случае с деревом событий временная последовательность событий, начиная с инициирующего события, описывает развитие пожара (иногда включая предшествующие события, приведшие к пожару), воздействия пожара, реакции на пожар и физический результат или воздействие пожара как результат.

8.4.3 В случае с деревом отказов (или исправной работы) логическое дерево, включающее логические элементы «И» и «ИЛИ», описывает сочетание условий, приводящих к реализации или нереализации конечного события, находящегося на самой вершине дерева.

8.4.4 Количественное измерение последствий легче осуществлять на основе дерева событий, в то время как двойные последствия (например, возгорание, отказ обеспечивающего безопасность оборудования, предотвращающего расплавление ядерных топливных элементов на атомных электростанциях) легче поддаются обработке на основе дерева отказов.

8.4.5 Как правило, деревья отказов используются в качестве поддерживающих моделей для ветвей дерева событий. Например, для события «срабатывание спринклерной системы», моделируемого в последовательности дерева событий, вероятность срабатывания спринклерной системы может быть смоделирована с помощью дерева отказов, которое фиксирует разные характеры отказов, связанные с системой.

8.4.6 Деревья отказов являются полезными инструментами при моделировании отказов, обусловленных общей причиной (например, землетрясением, наводнением), или одновременными отказами многих компонентов и систем.

## **8.5 Описание исходных условий и применение расчета**

8.5.1 Существует возможность задать исходные условия и затем использовать расчет для прогнозирования последующих стадий пожара. Исходные условия тесно связаны с выявлением опасных факторов, включая следующие:

- тепловой источник (например, сигарета, перегретое оборудование, открытое пламя), от которого зависит исходная энергия;
- исходный источник топлива (например, мягкая мебель, пролитая легковоспламеняющаяся жидкость), от которого зависит мощность пожара как функция времени на ранних стадиях пожара, включая исходную скорость роста пожара и максимальную скорость выделения тепла от исходного горящего объекта;

- местонахождение источника возгорания, включая возможность наличия нескольких источников возгорания (например, сигарета на поверхности дивана в сравнении с сигаретой в щели дивана, перегрев оборудования, приводящий к возгоранию горючих материалов на столе или под ним), что важно в связи с тем, как и когда загорается облицовка помещения и начинает влиять на развитие пожара, насколько близко расположены потенциальные второстепенные горючие материалы, и насколько близко располагаются люди и имущество, подверженные воздействию;
- продолжительность каждой стадии пожара, зависящая от всех опасных факторов, указанных в главе 6, которые могут привести к увеличению ущерба;
- знания и обучение пользователей здания, безопасная среда и подход к управлению в плане их влияния на возможную скорость и эффективность реакции людей при пожаре;
- статус или состояние обеспечиваемых мер пожарной безопасности, что может также включать архив данных по проверке, техническому обслуживанию, ремонту, надзору и контролю за соблюдением норм;
- любой особый ущерб, нанесенный мерам пожарной безопасности, совпавший с обстоятельствами, приведшими к возгоранию (например, выведение из строя активных систем защиты опытными поджигателями, повреждение компонентов и систем в результате землетрясения или наводнения).

8.5.2 Статус и состояние систем пожарной безопасности перед возгоранием и их функционирование во время пожара в значительной степени зависят не только от наличия и функционирования этих систем, но и от их надежности. Необходимо учитывать сценарии, при которых происходит отказ в работе противопожарных систем, или при которых данные системы отсутствуют.

8.5.3 Использовать существующие методы расчета для прогнозирования течения и воздействия пожара может быть более сложно, когда противопожарные системы отсутствуют или происходит отказ в их работе, чем когда проект пожарной безопасности функционирует должным образом.

8.5.4 К иным исходным условиям относятся не опасные факторы сами по себе, а условия, которые важны или полезны при осуществлении расчетов, а именно:

- вентиляция (например, изначально открытые или закрытые двери или окна, система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха включена или отключена);
- время, день или дата пожара, которые могут использоваться в качестве замещающих данных для оценки местонахождения и состояния людей, объектов и систем.

## 8.6 Упрощенный анализ

8.6.1 В этом пункте описаны подходы к упрощению, которые могут использоваться в оценке пожарного риска. Эти подходы не могут применяться ко всем видам анализа, но их можно использовать в тех случаях, когда такое применение оправдано. Выбор сценариев требует того, чтобы любые упрощения были точными и оправданными. Например, недопустимо описать только те сценарии, которые будут включены в анализ, и не учесть при этом масштаб риска, связанный со сценариями, не выбранными для анализа. Вместо этого необходимо определить все группы (кластеры) сценариев, прежде чем какие-то из них будут исключены или подвргнуты упрощенному анализу.

### 8.6.2 СЦЕНАРИИ С НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫМ РИСКОМ

Группы (кластеры) сценариев с настолько низким риском, что они не могут повлиять на общую оценку риска, можно не учитывать.

8.6.2.1 Например, при оценке альтернативного проекта пожарной безопасности, в котором применяются незащищенные стальные балки, только достаточно крупные пожары, на достаточно близком расстоянии и достаточно мощные, чтобы оказывать влияние на элементы конструкции, могут привести к ненулевым последствиям. Следовательно, все остальные, менее тяжелые сценарии, приводящие к нулевым или незначительным последствиям, можно не учитывать.

8.6.2.2 Хотя сценарии, имеющие незначительные последствия, обычно имеют незначительный риск, заключение о незначительности риска не может быть с точностью получено только на основе очень низкой частоты. Любой сценарий, независимо от того, насколько низкая у него частота, может иметь значительный риск, если его последствия достаточно велики.

8.6.2.3 Иногда применяются термины «сценарий наихудшего случая» и «наихудший сценарий из возможных» для обозначения наиболее тяжелых сценариев, требующих анализа, основанного на аргументе о незначительной частоте. Эти названия необходимо присваивать с осторожностью и на основе расчетов частоты, которые учитывают неопределенность в оценке частоты. Оценка риска для сценариев с очень низкой частотой очень чувствительна к даже незначительной неопределенности этой частоты.

8.6.2.4 Термин «максимальный прогнозируемый ущерб» описан в пункте 8.3.5 и является хорошо обоснованным методом определения характеристик наиболее тяжелого сценария (-ев), требующих анализа.

### 8.6.3 СТРОГО ДОМИНИРУЕМЫЕ СЦЕНАРИИ ПОЖАРА

Если последствие всех сценариев в одной группе (кластере) сценариев явно является меньшим, чем усредненное последствие в другой группе сценариев, то обе этих группы (кластера) могут быть объединены. Анализ может быть упрощен следующим образом: за частоту новой группы (кластера) принимается объединенная частота этих двух кластеров, а за завышенную оценку усредненного последствия объединенной группы (кластера) принимается последствие второй группы.

### 8.6.4 СЦЕНАРИИ, ПОЛНОСТЬЮ И ОЧЕНЬ НАДЕЖНО КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПРОЕКТОМ

Если известно, что компонент или система проекта будут действовать с очень высокой степенью надежности, то может быть обоснованно считать риск отказа этого компонента или системы незначительным. Например, проект, в котором используются негорючие строительные материалы, сводит частоту пожара, возникающего от возгорания конструкции, к нулю.

8.6.4.1 Не учитывать риск, связанный с такими отказами, является по существу явным решением, но требует рассмотрения масштаба последствий на случай, если отказ все же произойдет, чтобы обосновать подразумеваемый выбор, что риски, связанные с отказом высоко надежных систем являются допустимыми.

8.6.4.2 Кроме того, существует опасность при допущении о том, что последствия при исправной работе систем являются незначительными. Например, на этаже с высокой степенью риска повреждений на единицу площади может наблюдаться значительный ущерб от одного только дыма, огня или огнетушащего средства, при этом площадь поврежденной территории будет очень мала.

#### 8.6.5 СЦЕНАРИИ, КОТОРЫЕ НЕ МОЖЕТ КОНТРОЛИРОВАТЬ НИ ОДИН ПРОЕКТ

При сравнении риска двух альтернативных проектов сценарии с высокой тяжестью последствий, которые не могут быть снижены ни одним из возможных проектов, могут быть исключены, поскольку их риск будет взаимно исключаться при любом сравнении этих двух проектов.

8.6.5.1 Например, может быть непомерно дорого проектировать здание таким образом, чтобы оно выдержало наиболее тяжелый взрыв, вызванный ударом о него грузовика со взрывчаткой, но возможно спроектировать компоненты и порядок обеспечения безопасности, которые во многом позволят снизить вероятность того, что грузовик со взрывчаткой сможет подъехать к зданию. Поскольку ни одна система противопожарной защиты не сможет обеспечить приемлемых результатов в случае взрыва бомбы, заинтересованные лица, скорее всего, согласятся с тем, что исследования риска, связанные с выбором компонентов противопожарной защиты, должны исключить наиболее тяжелые сценарии пожара, вызванные взрывом бомбы. Однако, если при исследовании риска возникает необходимость сравнить интегрированные стратегии защиты с компонентами как противопожарной защиты, так и безопасности, тяжелый сценарий взрыва бомбы приведет к разным последствиям для разных проектов, и в этом случае исключать его нельзя.

8.6.5.2 Исключение сценариев на этом основании равноценно признанию связанных с ними рисков приемлемыми в связи с их неизбежностью. Любые исключенные риски должны быть описаны в документации по оценке риска, чтобы заинтересованные лица могли решить, согласны ли они с тем, что риск признан допустимым на основании его неизбежности.

8.6.5.3 Все пожары, возникшие в результате поджога, не следует исключать как пожары, которые не может контролировать ни один проект. Очень небольшое количество поджогов осуществляется людьми, имеющими хорошие знания в плане поведения пожара или желающими добиться максимального воздействия. Малое количество пожаров, возникших в результате поджога, включают в себя попытки вывести из строя системы противопожарной защиты или компонентов пассивной защиты, использование катализаторов или несколько разных местонахождений источников возгорания. Средний ущерб от пожара, возникшего в результате умышленного поджога, ненамного превышает средний ущерб от пожара, возникшего непреднамеренно.

## 9. ДАННЫЕ

### 9.1 Роль данных в процессе оценки пожарного риска

9.1.1 В процессе оценки пожарного риска инженеру может потребоваться проанализировать комментарии и информацию, не в полном объеме прошедшие количественную обработку. Такая необходимость возникает скорее при исследовании общепризнанных источников потенциальной неточности, чем при акцентировании внимания на итоговых измерениях относительной точности. Для полевого наблюдения и данных о случаях пожара лучшим доказательством точности является случайная выборка достаточного объема, чтобы снизить расхождение в любых основных итоговых измерениях. Случайность и связанное с ней отсутствие погрешности измерений могут оказаться более важными в плане обеспечения точности, чем объем выборки.

9.1.2 Прецизионность – это термин, иногда используемый для данных с низкой вариативностью (разбросом) любого вида. Погрешность измерения относится к наборам данных, в которых среднее значение не является хорошей основой для прогнозирования истинного значения. В редких случаях наборы данных или методы генерации данных (например, лабораторные испытания) охарактеризованы на основе измерений точности.

Точность включает в себя ряд характеристик данных, которые варьируются в зависимости от типа используемых данных. Повторяемость и воспроизводимость являются понятиями, наиболее часто используемыми в отношении лабораторных данных. Они относятся, соответственно, к измерениям вариативности данных, полученных в результате повторных испытаний, проводимых одним и тем же наблюдателем, и измерениями вариативности данных, полученных разными наблюдателями.

9.1.3 Адекватность данных может оцениваться на уровне концепции и на уровне применения. Уровень применения концентрируется на условиях и целях, для которых собирались данные. Чем больше среда сбора данных отличается от предполагаемого применения, тем более сомнительным будет этот набор данных для предполагаемого инженером применения.

Например, данные о случаях пожара, данные полевых наблюдений или лабораторные данные, полученные на основе исследования складских помещений или помещений, выглядящих как складские, могут не подходить для применения при анализе риска для жилых домов, ресторанов или здравоохранительных учреждений. Эти же самые данные могут достаточно хорошо подходить для больших производственных помещений или, в случае с некоторыми данными, для больших общественных зданий.

9.1.4 Инженеру необходимо проанализировать важные характеристики среды данных, чтобы понять, в достаточной ли степени эти характеристики схожи с предполагаемым применением. В некоторых случаях данные по большим складским помещениям могут быть менее пригодны для применения к небольшому складскому помещению, специализирующемуся на печатной продукции, по сравнению с данными по офисным помещениям, когда размер помещения и топливная нагрузка чрезвычайно важны.

9.1.5 На концептуальном уровне необходимо определить, является ли характеристика, отраженная в данных, достаточно близкой к характеристике, прогнозируемой моделью или иным расчетом. Примеры приведены ниже.

9.1.5.1 Оценка причины пожара, произведенная представителем пожарного надзора, может оказаться недостаточно близкой к причине, выявленной ведущим специалистом по оценке пожарного риска в качестве основания для вероятности сценария.

9.1.5.2 Степень огнестойкости пожарной двери может не обеспечивать достаточного основания для расчета периода времени, в течение которого она будет выполнять роль преграды.

9.1.6 Всегда следует предпринимать попытки проанализировать как можно больше потенциальных источников данных настолько, насколько это целесообразно, чтобы найти наилучшие источники для рассматриваемого применения. Если возможно, следует более подробно исследовать методики сбора данных и область их применения в целях определения их адекватности и применимости.

### 9.2 Типы данных о пожаре

9.2.1 Данные о пожарах бывают различных типов, которые могут применяться в процессе оценки пожарного риска. Ниже приведены наиболее распространенные типы данных, применяемые в процессе оценки пожарного риска в целях противопожарного проектирования.

#### 9.2.2 ДАННЫЕ О СЛУЧАЯХ ПОЖАРА И ЧАСТОТЕ ВОЗГОРАНИЯ

9.2.2.1 Данные о случаях пожара могут использоваться для того, чтобы напрямую оценить вероятности и последствия сценариев или косвенно оценить составляющие вероятности, такие как вероятность того, что спринклер сработает, или вероятность того, что пожар разрастется до определенного качественного масштаба. В США лучшая практика по применению национальных данных о случаях пожара включает в себя обращение к Национальной системе отчетности о пожарах Американского пожарного управления (NFIRS) в сочетании с обращением к соответствующей второй базе данных в целях прогнозирования на основе выборки, представленной участниками Национальной системы отчетности о пожарах, итоговых результатов по всей стране. В качестве второй базы данных наиболее часто используется ежегодное исследование ущерба от пожаров, проводимое Национальной ассоциацией по противопожарной защите (NFPA).

9.2.2.2 Как в случае с любым набором данных, основанном на выборке, национальные оценки, основанные на данных Национальной системы отчетности о пожарах (NFIRS), вызывают проблемы, связанные с вариативностью (разбросом) данных, если среди рассматриваемых случаев пожара NFIRS превалирует несколько случаев. Например, явление, связанное всего лишь с несколькими пожарами в течение каждого столетия, будет

иметь очень неопределенные значения вероятности даже при использовании имеющихся данных NFIRS за период последних двадцати лет. Один пожар с ущербом, вошедшим в историю (например, 100 смертельных случаев или \$1 млрд. прямого ущерба), может привести к искажению оценки, даже если используются данные за двадцатилетний период.

9.2.2.3 В целом, вопросы адекватности возникают при любом применении американских национальных оценок, основанных на имеющихся данных NFIRS за предыдущие годы. Спрогнозировать будущее на основе прошлого невозможно.

9.2.2.4 Датчики дыма, существовавшие в 1970-х гг., в значительной степени отличаются от их современных аналогов, а мягкая мебель, существовавшая в 1950-х гг. еще в большей степени отличается от современной мягкой мебели. За тридцать с небольшим лет применение дымовой пожарной сигнализации перестало быть редким исключением и стало практически повсеместным. В связи с этим, ожидание, что уровень смертности в результате пожаров будет продолжать падать столь же стремительно без помощи основной технологии пожарной безопасности, по всей вероятности, является крайне оптимистичным.

9.2.2.5 Национальные тенденции могут не отражать в точности те тенденции, которые существуют в конкретном штате или сообществе по причине предпочтений в строительной сфере, характеристик населения, климатических условий и т.п. Примером могут служить данные о возгорании из-за систем отопления по оценкам Национальной ассоциации по противопожарной защите (NFPA).

9.2.2.6 Более подробные данные можно получить из другой страны, но они могут оказаться неприменимы к рассматриваемой стране, и наоборот.

9.2.2.7 Подробная информация о тепловых источниках, исходном топливе, оборудовании для обнаружения и тушения пожара, типах зданий – перечислено лишь несколько основных элементов – представлена в NFIRS в ограниченном объеме, а особые характеристики применения, необходимого инженеру, могут в значительной степени отличаться от тех, что содержит большая, более разнородная база, представленная неделимыми данными.

9.2.2.8 Расчеты частоты возгорания требуют наличия как хороших баз данных по случаям пожара, так и хороших сопоставимых баз данных по воздействию (например, количество зданий или площадь, отведенные под использование рассматриваемого имущества). К источникам данных относятся:

- источники национального правительства;
- основные частные организации (например, Национальная ассоциация по противопожарной защите (NFPA));
- национальные нормы или технические руководства или органы, которые занимаются их составлением (например, Британский институт стандартов (BSI) или Австралийский совет по строительным нормам (ASCB));
- собственные источники (разработанные внутри компании для собственных целей) (например, лаборатория «Фактори Мьючуэл Глобал Лаборатори» и «Лаборатории андеррайтеров»), которые могут быть доступны или недоступны инженеру.

#### 9.2.3 ДАННЫЕ О СИТУАЦИЯХ, БЛИЗКИХ К АВАРИЙНЫМ, ИЛИ НЕЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ

9.2.3.1 Следует учитывать данные о ситуациях, близких к аварийным, или незарегистрированные данные о пожарах. Извлекая данные из источника, следует помнить, что эти данные могут иметься в другом формате или в виде отдельного документа.

9.2.3.2 Например, при опросе сотрудников завода о случаях пожара, реальные пожары могут быть зарегистрированы в базе данных, а данные о ситуациях, близких к аварийным, могут быть сохранены только в журналах учета, или о них могут помнить сами сотрудники. Незарегистрированные данные о пожарах также вносят искажения в данные о частоте и вероятности пожаров, и в зависимости от оценки пожарного риска это может привести к заниженным или завышенным расчетам.

#### 9.2.4 ДАННЫЕ О НАДЕЖНОСТИ И О ЧАСТОТЕ ДРУГИХ СОБЫТИЙ

9.2.4.1 Следует отметить, что данные могут иметь тенденцию попадать в разные категории. Одна из таких категорий – ретроспективные данные. По сравнению с данными о случаях пожаров ретроспективные данные более применимы в отношении предполагаемых отказов, хотя данные о случаях пожаров также могут быть получены на основе ретроспективных данных.

9.2.4.2 В зависимости от оценки пожарного риска есть вероятность наличия данных о случаях, не приведших к пожару, которые могут быть получены из ретроспективных данных, например, отчетные материалы о понесенных потерях, широко распространенные в промышленном секторе. Хотя событие не приводит к пожару, данные, полученные путем отслеживания таких случаев, могут использоваться для определения потенциальных опасностей пожара и взрыва. При выполнении оценки пожарного риска данные о ситуациях, близких к аварийным, могут быть настолько же важны, насколько и данные о реальных событиях пожара/взрыва.

9.2.4.3 Функционирование системы противопожарной защиты в целом или отдельных ее компонентов в течение периода времени можно проанализировать с целью определения его возможностей в аварийных условиях. Определенные системы противопожарной защиты являются по сути самоконтролируемыми (например, системы пожарной сигнализации), в то время как для определения исправности других систем требуется проведение проверки и испытаний или сама работа системы (например, водяные спринклерные системы). Однако, в зависимости от конкретной ситуации даже данные о долгосрочной надежности могут оказаться неприменимыми.

#### 9.2.5 ДАННЫЕ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

9.2.5.1 Данные натуральных наблюдений выводятся из натуральных исследований, несвязанных со случаями пожара. Данные могут быть результатом полномасштабного натурального моделирования событий пожара (напри-



мер, эвакуационных учений) или документирования натурных условий (например, проверок или наблюдений за целостностью противопожарных стен или надлежащей работой противопожарных дверей в промышленной среде).

9.2.5.2 Как правило, данные натурных наблюдений численные и включают в себя некоторую неопределенность. Например, данные натурных наблюдений по компонентам противопожарной защиты, таким как противопожарные двери и стены, могут давать конкретное число (в процессе испытания 6 из 10 противопожарных дверей функционировали, как положено) или менее определенный интервал (10% стены покрыто отверстиями, которые могут повлиять на ее огнестойкость).

#### 9.2.6 ЛАБОРАТОРНЫЕ ДАННЫЕ

9.2.6.1 Лабораторные данные обеспечивают конкретные результаты испытаний, полученные на основе совокупности контролируемых условий. В целях испытания могут вводиться переменные (например, для научного исследования), либо все условия могут оставаться постоянными, учитывая разнообразие выборок (например, испытания в «Лаборатории андеррайтеров» или лаборатории «Фактори Мьючуэл Глобал Лаборатори»).

Лабораторные данные могут обеспечить понимание теории пожаров, лежащей в основе рассматриваемого явления, или предоставить информацию о конкретном изделии или компоненте, имеющем отношение к пожарам. Это особенно важно при определении свойств конкретного изделия или проведении сравнения аналогичных изделий.

9.2.6.2 Лабораторные условия в значительной степени отличаются от полевых. Эту разницу необходимо учитывать при использовании лабораторных данных для полевого применения.

9.2.6.2.1 Лабораторные условия обеспечивают контролируемые условия испытаний, где большинство переменных являются контролируемыми и/или измеримыми.

9.2.6.2.2 Переменные, связанные с полевыми условиями, могут быть не настолько воспроизводимыми, контролируемыми или измеримыми, как переменные в лабораторных условиях.

9.2.6.3 Распространенным примером являются данные пожарных испытаний, полученные на основе функционального испытания элементов конструкции на огнестойкость. В лабораторных условиях последовательно применяется воспроизводимая кривая пожара к целой серии конструктивных элементов для определения их целостности в условиях пожара. Это не дает возможности непосредственного применения полученных данных о функционировании конструкции к ее функционированию в полевых условиях, поскольку поведение пожаров не настолько последовательно, как это обычно представлено в лаборатории.

#### 9.2.6.4 Данные о свойствах материалов

Данные о свойствах материалов являются очень важными для моделирования пожаров, на котором основаны некоторые оценки риска. Эти данные могут задавать минимальный тепловой поток, необходимый для возгорания, скорости выделения тепла, интенсивность, удельную теплоемкость, теплопроводность или другие характеристики.

#### 9.2.7 ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА

9.2.7.1 Инженерная оценка основывается на предшествующем опыте специалиста, когда другие формы данных не существуют либо отсутствуют. Потенциальный недостаток применения инженерной оценки заключается в субъективности мнений некоторых специалистов в зависимости от имеющегося у них опыта в данной сфере. Применение методов групповой экспертной оценки, таких как метод Дельфи, может свести субъективность оценок к минимуму благодаря учету мнений группы экспертов, а не каждого специалиста в отдельности.

При инженерной оценке численные данные играют наименьшую роль, поскольку мнения обычно формулируются относительно друг друга (т.е. событие А представляет больший риск, чем событие В, где ни один из рисков не имеет количественного выражения), относительно контрольных статистических данных (т.е. событие А представляет двойной риск по сравнению с событием В, чей риск количественно измерим) или относительно параметров, по которым нет данных. В случае, когда данные отсутствуют, эксперты работают совместно над определением исходных величин, и затем в процессе оценки используются средние величины.

9.2.7.2 Ниже перечислены некоторые сложности, с которыми можно столкнуться при применении инженерной оценки для определения вероятностей:

- Отдельные специалисты могут недооценивать низкие вероятности и переоценивать большие вероятности, т.е. очень низкие вероятности могут быть приравнены к нулю, а очень большие вероятности могут быть приравнены к единице или близкому к единице значению.
- Отдельные специалисты могут неверно оценить исключительные события или события с высокой степенью опасности, посчитав их невозможными (нулевая вероятность), если они никогда не происходили, или более вероятными, чем есть в действительности, если подобные события происходили, особенно, если это случилось недавно.
- Отдельные специалисты могут принимать условия, которые не являются независимыми, за независимые, что означает обращаться с условными вероятностями так, как если бы они были безусловными.
- В отличие от мнения некоторых специалистов, избыточные системы могут не повышать надежность в значительной степени. Например, даже при наличии нескольких спринклерных систем, недостаточная подача воды или неудовлетворительное техническое обслуживание могут подорвать работу всех систем. Надежность систем может быть комплексной функцией надежности компонентов, и специалисты могут не быть в равной степени опытными в оценке надежности, связанной с ошибками персонала, и механической надежности.

9.2.7.3 Поскольку ошибки такого типа широко распространены, их невозможно сократить только посредством применения групповой экспертной оценки или действий, предпринятых из лучших побуждений инжене-

ром, которому известно о потенциальных проблемах, хотя оба эти способа могут сократить возникновение других ошибок при проведении оценки.

9.2.7.4 Для повышения качества оценки могут использоваться следующие методы.

9.2.7.4.1 Выбор диапазона – широко распространенный подход, заключающийся в том, чтобы эксперты установили наиболее подходящее оценочное значение или положение, а затем установили верхний и нижний пределы. Несмотря на то, что это наиболее распространенный подход, пределы, установленные с помощью данного метода, часто дают неполный прогноз действительности. (Описанный далее метод является более совершенным.)

9.2.7.4.2 Заключение в скобки. Часто бывает сложно выбрать наилучшее и наиболее показательное значение. Некоторые специалисты обнаружили, что проще рассчитать предельные значения (большее и меньшее). После того, как будут определены эти предельные значения, выбор наиболее показательного значения становится более простым и обоснованным.

9.2.7.4.3 Деление на части. Когда трудно установить значение напрямую, деление задачи на части позволяет сделать ее более легко поддающейся обработке. Этот подход широко применяется при определении частоты событий (например, деревья событий). Тщательный выбор частей обычно позволяет сделать анализ более обоснованным.

9.2.7.4.4 Итерация. Для некоторых задач численный ответ менее важен, чем заключение, относящееся к допустимому риску. В таких случаях приближенные решения могут подтвердить оценку. Эти приближенные решения показывают отсутствие необходимости в точных решениях, поскольку они демонстрируют допустимость заданной совокупности контрольных условий со значительным запасом надежности.

### **9.3 Преимущества и недостатки данных**

9.3.1 В зависимости от применяемого метода оценки пожарного риска каждому типу данных будут присущи как сильные, так и слабые стороны. Например, в отличие от количественных методов качественные методы оценки пожарного риска могут не требовать применения численных данных. Специалисты в сфере проектирования, осуществляющие оценку пожарного риска, должны проанализировать все имеющиеся данные для того, чтобы определить, какие из них наиболее применимы для конкретной оценки пожарного риска. При наличии нескольких источников данных следует установить иерархию, отдав предпочтение наиболее подходящим и применимым источникам данных.

9.3.2 Многие базы данных с большим количеством подробной информации не являются полными и показательными в плане лежащей в основе генеральной совокупности событий, которую они должны отражать. Для вычисления вероятностей полнота базы данных не является обязательной или особо значимой ее характеристикой, в отличие от показательности, которая очень важна. База данных, не учитывающая небольшие пожары, пожары, по которым не были зарегистрированы запрашиваемые подробности, или пожары на объектах, где не было возможности заполнить соответствующую документацию, предположительно не может считаться показательной.

9.3.3 Погрешности в базе данных (например, неверное определение причины) сами по себе не могут послужить причиной отказа от использования базы данных, если в них нет систематической ошибки, и объема базы данных достаточно для того, чтобы нейтрализовать погрешности.

9.3.4 В процессе принятия решений о применении данных должны быть учтены источники данных. Применимость данных для оценки пожарного риска должна быть подтверждена специалистом по проектированию. База данных о случаях пожара в жилых зданиях не должна использоваться при оценке пожарного риска в промышленном секторе. Эта же самая база данных может в некоторой степени найти применение в оценке пожарного риска учреждений гостиничного типа или учреждений закрытого типа, использование которых имеет схожие характеристики (например, помещения временного пребывания на посуточной основе).

9.3.5 Наиболее важным аспектом при выборе данных является обеспечение их применимости и адекватности. Что касается адекватности, важно учитывать источник данных. Если используется внешний источник, следует рассмотреть, каким образом были получены данные, и каково их конечное назначение. База данных по надежности спринклерных систем может не подходить, если она получена от ассоциации производителей пассивной противопожарной защиты (отрицательная погрешность) или ассоциации производителей спринклерных систем (положительная погрешность), но нужно соблюдать осторожность даже при работе с непредвзятыми источниками. Всегда следует анализировать методы сбора данных, чтобы определить, подходит ли источник для выполнения оценки пожарного риска, даже если он предоставлен беспристрастной стороной.

### **9.4 Представление данных**

Представление источников данных в оценке пожарного риска является очень важным для обеспечения ясного понимания содержания оценки пожарного риска и подтверждения ее обстоятельности и применимости для эксперта, осуществляющего проверку. Наряду со всеми применяемыми данными должно быть указано правильное определение источников данных, область применения и ограничения каждого из них. При выявлении противоречий между источниками данных, должны быть предприняты попытки по разрешению противоречий путем анализа методологии и области применения.

## 10. ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ

### 10.1 Общие положения

10.1.1 Основное отличие оценки пожарного риска от традиционных оценок при противопожарном проектировании состоит в том, что оценка пожарного риска не ограничена детерминированным анализом. Неопределенности, связанные с тем, возникнет ли пожар, будут ли работать системы и т.п., рассматриваются подробно и непосредственным образом.

10.1.2 Выходные данные частотного анализа должны быть в такой форме, которая может быть использована в качестве входных данных для расчетов риска. Чтобы выполнить анализ риска, частотный анализ и анализ последствий должны проводиться на общей структуре сценариев с совместимыми величинами (например, количество пожаров в год и количество смертельных случаев за пожар).

10.1.3 В соответствии с подробным описанием в главах 7 и 8 при оценке пожарного риска используется структура сценариев, в которой кластеры сценариев совместно представляют все возможные сценарии (или, по меньшей мере, все сценарии, способные повлиять на расчет риска) и являются основой, на которой рассчитываются частоты. Каждый кластер сценариев включает в себя показательный сценарий, являющийся основой для расчета последствий (и частью оценки, которая приближенно равняется всей традиционной инженерной оценке).

10.1.4 Каждый кластер сценариев, используемый в оценке, имеет приписываемую ему расчетную частоту, т.е. подсчет количества случаев за единицу времени (например, количество пожаров в год), которые произойдут и будут иметь характеристики, типичные для этого кластера сценариев.

10.1.5 Частота кластеров сценариев обычно рассчитывается как результат частоты возгораний и последовательности условных вероятностей, при этом каждая условная вероятность соответствует событию в дереве событий или дереве отказов (более подробную информацию о форматах деревьев для анализа см. в главе 8). Событие может быть этапом на стадии роста пожара или активации или действия системы или элемента системы противопожарной защиты.

### 10.2 Вероятность по сравнению с частотой

10.2.1 Вероятность легко учитывается как определенная попытка или возможность возникновения или отсутствия конкретного события. Например, происходит возгорание или нет; спринклер или пожарный извещатель срабатывает или нет; противопожарная дверь или стена разрушается или нет. Каждое из этих явлений представляет собой отдельное событие, и для большинства из них по сути нет возможности возникновения нескольких событий.

10.2.2 Когда существует реальная возможность возникновения нескольких однотипных событий, как в случае с возгораниями в течение года, вероятность не является подходящей формой для выражения информации о неопределенных событиях. Поскольку оценки пожарного риска обычно структурированы с учетом ежегодных затрат и потерь на период в несколько десятилетий, в качестве основного показателя возможности возникновения сценария больше подходят не вероятности, а частоты.

10.2.3 Иногда практикующие специалисты используют термины «вероятность» и «частота» как взаимозаменяемые при обращении к низким частотам за единицу времени, например, частоте 0,001 пожаров в год или вероятности за единицу времени, равной одному случаю на тысячу, что пожар произойдет в течение года.

10.2.4 Существуют частотные и субъективные подходы к вероятностям. При частотном подходе вероятность рассматривается в виде скрытого или явного расчета некоего коэффициента соответствующих событий к общему количеству событий (например, какое количество пожаров начинается с сигареты в качестве теплового источника). Субъективный подход рассматривает вероятность как выражение степени убежденности специалиста, осуществляющего анализ (например, по вашему мнению, какова вероятность того, что следующий пожар начнется с сигареты в качестве теплового источника?).

10.2.5 В данном руководстве рекомендуется, чтобы частоты и вероятности были основаны, в максимально возможной степени, на надежных, релевантных данных (см. главу 9). Однако, это не означает, что частоты и вероятности должны быть исключительно или преимущественно основаны на соответствующих данных о прошлом ущербе. С практической точки зрения, частоты, основанные на ретроспективных данных, могут не обеспечить надежного подсчета вероятностей при текущих условиях, не говоря о вероятностях, проистекающих из совокупности проектных, эксплуатационных и других решений.

### 10.3 Расчет вероятностей

10.3.1 Часто искомую вероятность невозможно напрямую получить из данных, но можно вычислить, используя формулу, объединяющую условные вероятности, при этом каждая условная вероятность сама по себе должна быть основана на хорошо подходящей базе данных. В «Руководстве SFPE по противопожарному проектированию» описаны элементы условных вероятностей и показано, как использовать такие методы для моделирования роста пожара.

10.3.2 Расчет с использованием условных вероятностей полезен не только потому, что прямой расчет зачастую невозможен, но и потому, что он дает более точную картину того, как искомая вероятность выстраивается из двух или более очень разных ситуаций, лежащих в основе.

10.3.3 Кроме того, вероятности можно определять и вычислять как функции. Например, вместо того, чтобы вычислять общую вероятность срабатывания пожарных извещателей, более полезным может оказаться

использование вероятностной функции, обозначающей активацию пожарных извещателей как функцию продолжительности пожара. И более полезным может оказаться составить эту функцию, используя функции условных вероятностей, которые отражают разные места расположения огня относительно мест расположения пожарных извещателей, и разные скорости развития пожара, например: тление в сравнении с пламенным горением.

#### **10.4 Характерные типы вероятностей**

10.4.1 Очевидно, что для оценки пожарного риска наиболее необходимым типом вероятности является вероятность возгорания. Обычно ее проще рассчитать в два шага: первый – оценка общей вероятности, что пожар произойдет, и второй – специфичные для конкретного кластера сценариев расчеты вероятности того, что пожар, если он произойдет, будет определенного типа.

10.4.2 Некоторые наиболее важные сценарии включают в себя очень низкие вероятности, но очень тяжелые последствия. Даже база данных за многолетний период может свидетельствовать о нулевой оценке вероятности подобных сценариев, но эти данные могут быть обманчивыми. Сценарий пожара, способного привести к 1 000 смертельных случаев или \$1 млрд. ущерба имущества, вызывает опасения, даже если его вероятность составляет лишь 1 случай на 1 миллион пожаров в год, но база данных, в которой зарегистрировано 10 000 пожаров за 50 лет не в состоянии оценить вероятность, составляющую меньше, чем 2 случая на миллион.

10.4.3 Помимо вероятностей возгорания, необходимо, чтобы оценка пожарного риска включала в себя вероятности условий, значимых для функционирования ряда расчетных и нерасчетных факторов. Какова вероятность того, что спринклерный клапан окажется закрытым в момент возникновения пожара? Какова вероятность того, что противопожарная дверь окажется открытой? Какова вероятность того, что помещение полностью заполнено людьми? Структура сценариев, описанная в главах 7 и 8, указывает, какие переменные будут иметь свои собственные требования к вероятностям.

#### **10.5 Вероятностная оценка**

10.5.1 Для определения вероятностей событий можно использовать три метода, как по отдельности, так и в сочетании друг с другом: ретроспективные данные, инженерную оценку или модели.

##### **10.5.2 РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ ДАННЫЕ**

Ретроспективные данные должны быть исходной точкой для частотного анализа, поскольку они отражают все аспекты действительности, включая те, которые еще недостаточно признаны, чтобы быть явно включенными в модели или влиять на инженерную оценку. Тем не менее, ретроспективные данные могут не отражать текущую действительность, и могут быть получены на основе свойств, мест расположения и культур, которые во многом отличаются от тех, что представляют интерес в данный момент. Более того, они не обеспечивают четкой основы для внесения корректировок с целью урегулирования несоответствий между действительностью, которую они отражают, и действительностью, представляющей интерес в текущий момент. Более подробную информацию по применению ретроспективных данных смотрите в главе 9.

##### **10.5.3 ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА**

Преимущество использования инженерной оценки — будь то оценки, сделанной одним инженером или группой инженеров, в свободной форме или с использованием некоего систематизированного подхода, например, метода Дельфи — заключается в том, что оценка может быть дана любой необходимой вероятности. Недостаток ее использования состоит в том, что даже у очень опытных инженеров или других специалистов по пожарной безопасности (например, пожарных) обычно не хватает навыков эффективного преобразования собственного опыта в оценку вероятности.

##### **10.5.4 ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ**

10.5.4.1 Вероятностное моделирование в целях оценки вероятности главным образом является отображением рассматриваемой вероятности в виде последовательности условных вероятностей, в которой эти условные вероятности легче оценить на основе имеющихся данных или проще для инженеров провести эффективную инженерную оценку. В этом смысле моделирование не является полностью независимым третьим источником, поскольку зависит от параметров, которые сами по себе должны быть оценены на основе данных или инженерной оценки.

10.5.4.2 Методы Монте-Карло (методы статистических испытаний) – численные методы для решения сложных вероятностных вычислений. При применении методов Монте-Карло специалист, осуществляющий оценку, использует генератор случайных чисел для выбора образцов сочетаний значений параметров, при этом сочетания неявно определены лежащими в основе вероятностями, предоставленными пользователем. Например, предположим, что вероятность срабатывания спринклерной системы составляет 90%. В этом случае специалист применяет генератор случайных чисел и может сказать, что 0 соответствует отказу спринклерной системы, а любое значение от 1 до 9 соответствует ее срабатыванию.

10.5.4.3 Важно понимать, что метод Монте-Карло не является методом оценки основных вероятностей; для применения этого метода требуется, чтобы основные вероятности были предоставлены пользователем. Если пользователь не предоставил вероятности, в методе Монте-Карло будет использоваться распределение по умолчанию, например, равномерное распределение или нормальное распределение, и предположение о том, что такие значения по умолчанию разумны, небезопасно. Кроме того, до тех пор, пока не будет создана большая выборка сценариев, влияние событий с низкой вероятностью и высокой тяжестью последствий может непреднамеренно оказаться неучтенным.

## **10.6 Надежность систем**

10.6.1 Систем противопожарной защиты (и, более того, других инженерных систем), имеющих 100%-ую надежность, не существует. При проведении оценки пожарного риска следует учитывать надежность и характеры отказов систем противопожарной защиты и других связанных с ними систем, таких как системы энергоснабжения, подачи воды и т.п.

10.6.2 Надежность системы противопожарной защиты зависит от надежности ее компонентов, взаимодействия между компонентами и другими системами и степени избыточности. Хотя данных о надежности отдельных компонентов в настоящее время мало, и с ними необходимо обращаться, используя завышенные допущения и анализ чувствительности, методология оценки надежности взаимодействия систем, а также систем с различными формами избыточности, хорошо проработана.

## 11. АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ

### 11.1 Общие положения

11.1.1 Анализ последствий является основным компонентом определения параметров риска и включает в себя определение потенциальных воздействий опасного события без учета частоты возникающих последствий (более подробную информацию о частотном анализе см. в главе 10).

11.1.2 Чтобы выполнить анализ риска, частотный анализ и анализ последствий должны проводиться на общей структуре сценариев с совместимыми величинами (например, количество пожаров в год и количество смертельных случаев за пожар). Выходные данные анализа последствий должны быть представлены в такой форме, которая может быть использована в качестве входных данных для расчета рисков, описанного в главе 12 данного руководства.

11.1.3 Если результаты анализа последствий не могут быть напрямую использованы в оценке риска, инженер должен преобразовать этот результат в формат, пригодный для расчета рисков; например, если результатом является температура, она должна быть преобразована в показатели ущерба, нанесенного содержимому и конструкции здания.

### 11.2 Методы определения последствий

11.2.1 По каждому из выявленных сценариев пожара (показательным для кластера сценариев) определяются последствия опасных факторов с учетом потенциальных травм, смертельных случаев, ущерба или аварий. Как правило, это осуществляется тремя способами.

#### 11.2.2 ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ОБ УЩЕРБЕ/РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ДАННЫХ

11.2.2.1 Важной частью выявления опасных факторов и анализа последствий является анализ прошлых событий, приведших к ущербу, в которых существовали опасные факторы, аналогичные рассматриваемым. Анализ имеющейся информации о случаях ущерба и имеющихся данных о тенденциях нанесения ущерба может помочь в понимании последствий события и предоставить разбивку последствий исходя из конечного ущерба. Примеры баз ретроспективных данных приведены в главе 9 данного руководства.

11.2.2.2 Применение ретроспективных данных может быть:

- a) характерным для исследуемой застроенной среды (данные о происшествиях, связанных с конкретной деятельностью, обычно являются лучшим источником информации);
- b) характерным для сооружений одного типа, расположенных в одном месте или имеющих одного владельца;
- c) связанным с любым большим скоплением сооружений одного типа, включая национальные и международные базы данных.

11.2.2.3 Оценка последствий с использованием ретроспективных данных имеет свои преимущества и недостатки:

- Надежность и релевантность используемых данных. Ретроспективные данные служат опорой для значения, используемого в расчете последствий; т.е. когда имеется достаточное количество релевантных данных о прошедших событиях, исторически обоснованные последствия могут служить адекватной основой для осуществления корректной оценки пожарных рисков. Тем не менее, последствия, полученные таким способом, отражают лишь средние значения и наиболее подходят для простых систем, где нет большого числа переменных, которые могут в значительной степени изменить результаты. Используемые данные должны иметь отношение к исследуемому случаю (т.е. иметь такую же основу, что и исследуемый случай). Кроме того, погрешности данных и изменение этих данных с течением времени могут затруднять применение ретроспективных данных.
- Доступность данных. База данных может оказаться недоступной для пользователей. При возникновении сложностей в использовании базы данных, следует применить иной метод.
- Объем базы данных для обеспечения точных расчетов и наличие уровня детализации. Объем базы данных является важным аспектом в оценке последствий. Однако, объем базы данных должен быть показательным для обеспечения точных расчетов последствий. Одним из недостатков является нехватка данных. Часто детали, зафиксированные в данных, не охватывают все те детали, которые важны при расчете последствий.
- Неполные базы ретроспективных данных. Иногда о небольших случаях пожаров, которые могли бы перерасти в большие, не сообщается, поэтому они могут быть не включены в базу данных. Следовательно, инженер должен очень внимательно исследовать источники данных, чтобы определить их применимость.
- Ограниченные ретроспективные данные. Существует множество ситуаций, для которых может не иметься ретроспективных данных или они могут быть ограничены, что не позволяет сделать уверенные прогнозы о последствиях. Следовательно, при использовании ретроспективных данных, специалист должен проделать следующее:
  - осуществить сбор данных;
  - проанализировать и оценить ретроспективные данные с точки зрения определения потенциала для пожаров;
  - оценить применимость данных;

- определить, являются ли ретроспективные данные релевантными и адекватными для проводимого исследования:
  1. если да, то применить;
  2. если частично, то использовать инженерную оценку для корректировки данных;
  3. если нет, использовать другой метод.
- Необходимая корректировка данных. Как правило, на практике оценки потенциальных последствий пожара в конкретном помещении или здании требуют корректировки ретроспективных данных с целью воспроизведения этого помещения или здания.

#### 11.2.3 ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ОЦЕНКИ

11.2.3.1 Особого внимания требует метод систематического и последовательного применения экспертной инженерной оценки и экспертного мнения в рамках оценки пожарного риска.

11.2.3.2 Инженерная оценка может быть основана на прошлом опыте специалиста или выполнена на основе систематизированного и последовательного метода, такого как метод Дельфи. Этот метод полезен и может обеспечить оценку последствий, особенно при отсутствии других методов, или когда иные формы данных не существуют либо отсутствуют. Этот метод требует наличия навыков и опыта, но даже у опытных инженеров иногда могут возникать сложности в уверенной оценке последствий. Еще один недостаток применения этого метода заключается в субъективности мнений некоторых специалистов в зависимости от прошлого опыта.

11.2.3.3 В случае, когда данных не хватает, или они недоступны, специалисты используют инженерную оценку для определения исходных значений; далее в процессе применяются средние значения, либо может использоваться матрица рисков, в которой все оценки последствий включены в небольшое количество равномерно распределенных значений. Следует отметить, что инженерная оценка может осуществляться для точечных значений или для диапазонов значений. Использование диапазонов значений менее подвержено противоречиям и расхождению во мнениях специалистов, оценивающих последствия.

11.2.3.4 Полученные таким образом оценки должны объединять оценку и мнения группы специалистов, а не полагаться на мнение одного специалиста.

#### 11.2.4 ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ

11.2.4.1 Метод оценки последствий пожара в здании на основе применения моделей помогает оценить последствия конкретного сценария пожара, начавшегося в конкретном месте. К результатам относятся: количество травм и смертельных случаев; ущерб, нанесенный имуществу; стоимость простоя или прерывания коммерческой деятельности; или влияние на окружающую среду.

11.2.4.2 Разработаны, постоянно совершенствуются и проходят валидацию детерминированные модели по расчету последствий или выполнению анализа последствий. Имеющиеся компьютерные модели последствий обычно дают возможность оценить развитие пожара, перемещение дыма, реакцию конструкций и время отклика и эвакуации. Кроме того, они рассчитывают время до наступления пороговых значений опасных повреждений или возникновения несовместимых с жизнью условий.

11.2.4.3 Преимущество использования моделей для оценки последствий заключается в том, что они дают количественную оценку, основанную на рационализированном методе. Кроме того, любое изменение в проекте может быть логически соотнесено с итоговым последствием. Это позволяет проектировщикам легко определять, где необходимо внести изменения, чтобы получить допустимые значения пожарного риска.

11.2.4.4 При использовании моделей пользователи должны знать об их ограничениях, чтобы их применение не дискредитировало итоговые последствия. Кроме того, вызывать опасения могут входные данные моделей, т.к. поля данных могут быть субъективными, основанными на суждениях, или их может быть трудно получить. Необходимо учитывать неопределенность (см. главу 13).

11.2.4.5 Модели, используемые в оценке последствий пожара, могут быть в форме простых корреляций, частных отдельных моделей или полного анализа, сочетающего в себе все необходимые модели. Применение того или иного метода зависит, отчасти, от сложности исследуемой задачи и искомого результата исследования. Простые корреляции легче использовать, но они могут не дать необходимого результата, и может потребоваться объединить их с другими моделями. Частные отдельные модели могут обеспечить итоговый результат, но пользователю может потребоваться использовать выходные данные одной модели в качестве входных для другой и убедиться, что ограничения всех моделей хорошо изучены. В моделях, сочетающих в себе полный анализ, пользователю нет необходимости беспокоиться о связях между разными моделями; тем не менее, входные данные, которые могут быть очень подробными, должны быть точными и правильно подготовленными.

11.2.4.6 Подробные рекомендации по расчету последствий с использованием моделей можно найти в руководствах по противопожарному проектированию (например, «Руководстве SFPE по противопожарному проектированию»). К этой справочной литературе следует обращаться, чтобы определить, подходят ли модели для конкретного применения.

11.2.4.7 Пользователь должен обращаться к соответствующей литературе за информацией о допущениях и ограничениях моделей.

11.2.4.8 Три описанных выше метода могут использоваться вместе для оценки последствий, т.е. экспертная оценка может применяться в сочетании с ретроспективными данными или моделями, если информация недоступна.

### 11.3 Оценка последствий

11.3.1 Для определения возможности ущерба и уровней недопустимого воздействия, связанных с нежелательными пожарами, последствия оцениваются исходя из влияния на здоровье и безопасность людей (по-

следствия, связанные с безопасностью), ущерба имуществу (влияние на имущество), затрат на прерывание коммерческой деятельности (влияние на деятельность) или вреда, причиняемого окружающей среде.

11.3.2 Эти последствия могут быть прямыми (например, вред, нанесенный имуществу) или косвенными (например, прерывание деятельности компании на несколько дней). Они могут быть объективными (например, восстановительная стоимость в денежных единицах) или субъективными (например, боль и страдания, связанные с травмами, вспомогательный показатель ущерба). Чтобы оценить риск, должен быть выбран подходящий результат, согласующийся по своим характеристикам с критерием допустимости риска (в соответствии с описанием в главе 5).

#### **11.4 Сложности при оценке последствий**

11.4.1 Анализ последствий является более сложной процедурой, чем оценка опасных факторов, поскольку не всегда ясно, каким образом и в какой степени что-либо оценивается, и должны быть описаны параметры ущерба.

11.4.2 При оценке последствий безопасности многие инженеры, например, рассматривают только травмы и смертельные случаи. Однако, существуют также такие факторы, как снижение качества жизни, боль и страдания, реабилитация после полученной вследствие пожара травмы, неспособность продолжать трудовую деятельность и влияние на отношения в семье.

11.4.3 Что касается защиты имущества, заинтересованным сторонам и сторонам, которые могут пострадать, не всегда может быть ясно, где, как и в каком объеме может произойти ущерб. Помимо теплового воздействия, следует учитывать такие факторы, как вред от дыма и воды. Снос здания, восстановление окружающей среды и реконструкция в соответствии с новыми нормами или стандартом может внести дополнительные сложности в расчет восстановительной стоимости.

11.4.4. Ситуация может еще больше усложниться при оценке потенциального влияния на непрерывность деятельности и вреда, наносимого исторически значимым зданиям или содержимому. Помимо краткосрочных денежных потерь, связанных с простоем, существуют вопросы долгосрочного характера, такие как утрата имиджа и доли на рынке.

11.4.5 Иногда последствия оцениваются в денежном выражении. Тем не менее, в некоторых случаях оценка в денежном выражении может быть затруднена. В особенности, это справедливо в отношении безопасности людей, поскольку оценить человеческую жизнь в денежном выражении может быть сложным и спорным вопросом.

11.4.6 Все эти сложности важно учитывать при определении допустимых воздействий и выборе критериев допустимости (ущерба, отказа). Именно поэтому в процесс должны быть вовлечены все заинтересованные стороны.



## 12. РАСЧЕТ РИСКА

### 12.1 Общие положения

12.1.1 Пожарный риск представляет собой возможность возникновения нежелательных, неблагоприятных последствий, когда пожар служит опасностью, которая может привести к смерти или причинению вреда жизни людей, здоровью, имуществу, деятельности, культурному и историческому наследию, окружающей среде, или сочетанию этих компонентов.

12.1.2 Расчет пожарного риска – это определение основных параметров рисков, как правило, основанное на ожидаемом значении условной вероятности, что пожар произойдет, умноженное на последствия данного пожара, при условии, что он произошел. Этот расчет осуществляется в процессе ответа на следующие три вопроса:

1. Что могло бы произойти? Это последовательность событий, ведущая к ущербу вследствие пожара и называемая сценарием. Процесс определения и выбора сценариев или групп (кластеров) сценариев описан в главах 7 и 8 данного руководства, соответственно.

2. Как часто это происходит? Это определение частоты возникновения сценария, потенциально приводящего к ущербу. Частотный анализ описан в главе 10 данного руководства.

3. Насколько тяжелым будет сценарий? Это определение потенциального ущерба, также называемого последствиями. Анализ последствий описан в главе 11 данного руководства.

12.1.3 После того, как расчет пожарного риска проведен, проводится его оценка относительно порогового значения допустимости риска (см. главу 5 данного руководства). Анализ оценки риска описан в главе 14 данного руководства.

### 12.2 Методы расчета пожарного риска

12.2.1 Анализ риска можно разделить на три уровня: качественные методы, полуколичественные методы и количественные методы. Качественные методы применяются для определения наиболее опасных событий. Полуколичественные методы применяются для определения относительных опасных факторов, связанных с нежелательными событиями; полуколичественные методы включают в себя индексные методы, методы представления баллов или численной классификации. В этих методах опасности ранжируются на основе балльной системы. Количественные методы являются наиболее обширными и трудоемкими. В этих методах применяется вероятностный подход к определению количественного риска, исходя как из частоты, так и из последствий.

12.2.2 В данном разделе приведено краткое описание некоторых количественных и качественных методов анализа риска.

#### 12.2.3 КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ИЛИ ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ

12.2.3.1 Вероятностные методы являются наиболее информативными подходами к оценке пожарного риска. Они предоставляют количественные значения, как правило, вытекающие из методов, связь которых с лежащим в их основе распределением рисков (которое пытаются исследовать все методы) можно проследить через явно выраженные допущения, данные и математические соотношения.

12.2.3.2 При использовании количественных методов риск рассчитывается с использованием двух основных компонентов: частоты или вероятности возникновения разрушительного пожара и последствий этого события. Таким образом, пожарный риск можно выразить следующим уравнением:

$$Риск = \sum_i (P_i \cdot C_i)$$

где  $\Sigma$  – сумма всех возможных сценариев пожара (см. главы 7 и 8),  $P_i$  – частота или вероятность возникновения сценария пожара (см. главу 10), а  $C_i$  – ожидаемое последствие этого сценария пожара (см. главу 11).

12.2.3.3 Если сопоставлять последствия относительно частоты, сценарий с высокой тяжестью последствий и низкой частотой и сценарий с низкой тяжестью последствий, возникающий часто, могут иметь сравнимый риск. Это способ упорядочить различные опасности таким образом, чтобы их можно было сравнить или суммировать для получения итогового ущерба.

12.2.3.4 При вероятностной оценке пожарного риска широко применяются анализы дерева событий и дерева отказов для оценки пожарного риска или безопасности всей системы противопожарной защиты или ее компонента. В главе 8 приводится краткое описание деревьев событий и отказов в контексте параметров структур сценариев пожара. Более подробное описание приводится ниже.

#### 12.2.3.5 Деревья событий

12.2.3.5.1 Дерево событий представляет собой графическую логическую модель, которая определяет результаты, возникающие вследствие инициирующего события, приводящего к пожару, и дает им количественное выражение. Структура дерева основана на временной последовательности. С увеличением количества событий изображение расширяется, напоминая ветви дерева. Все события происходят от инициирующего события, которое порождает последовательность событий. Вероятности можно рассчитать на основе дерева, а последствия, как правило, присваиваются конечным состояниям, но могут накапливаться по ходу дерева. Деревья событий можно использовать для анализа систем, в которых компоненты работают последовательно или с переходом из одного состояния в другое.

12.2.3.5.2 В плане пожарной безопасности анализ дерева событий (ETA) является одним из способов выстроить обоснованную картину частоты сценариев пожара, используя знания о механизмах возникновения,

распространения и сдерживания пожаров. Целью дерева событий является определить вероятность возникновения сценария, основываясь на результатах каждого события в хронологической последовательности событий, ведущей к этому сценарию. Анализируя все возможные сценарии, можно определить желаемый результат в процентном выражении. Кроме того, частоту и связанный с ней риск превышения уровня воздействия также можно рассчитать и сравнить с параметрами снижения риска.

12.2.3.5.6 Анализ дерева событий часто применяется для оценки сложных ситуаций с несколькими возможными сценариями, когда задействовано или рассматривается несколько противопожарных систем или систем безопасности людей. Несмотря на то, что анализы риска, основанные на методе дерева событий, применимы к ситуациям, включающим в себя несколько сценариев, это не значит, что такие подходы обязательно являются простыми. По каждому рассматриваемому компоненту противопожарной защиты количество ветвей (т.е. потенциальных результатов) в дереве событий будет увеличиваться. Учитывая, что это увеличение обычно происходит в геометрической прогрессии, анализ может оказаться достаточно сложным.

#### 12.2.3.6 Деревья отказов

12.2.3.6.1 Дерево отказов представляет собой метод отображения логических сочетаний различных состояний систем, которые ведут к определенному результату. Структура дерева основана на логической зависимости. Она начинается с анализа конечного события в вершине дерева, вслед за которым происходит выявление всех промежуточных событий в системе, ведущих к возникновению конечного события. На основе дерева также можно рассчитать вероятности. Последствия, как правило, скрыты в той или иной форме (исправная работа или отказ), т.ч. для расчета риска, исходя из определения, оказывается достаточно вероятностей. Деревья отказов обеспечивают удобное графическое отображение сочетания событий, приводящего к возникновению конечного события.

12.2.3.6.2 Анализ дерева отказов обычно выполняется в графической форме с использованием логических элементов «И» и «ИЛИ». Для возникновения конечного события иногда может потребоваться, чтобы некоторые промежуточные события происходили одновременно. В таком случае эти события будут располагаться под логическим элементом «И», означающим, что должны произойти все эти события, чтобы произошло событие в вершине дерева. Если любое из расположенных ниже событий способно само по себе вызвать возникновение события, указанного в вершине дерева, тогда эти события группируются под логическим элементом «ИЛИ».

12.2.3.6.3 Анализ дерева отказов преимущественно является методом обратного дедуктивного мышления, при котором внимание сосредоточено на определенном результате, который может возникнуть, и обеспечивается структура для оценки возможных причин такого результата. Структура представлена в форме графической модели, которую использует специалист, осуществляющий оценку риска, для отображения различных событий, условий, действий и результата. Результатом анализа дерева отказов является последовательность событий, которые могут привести к отказу, и он может включать в себя компонент, оборудование, систему, их эксплуатацию и/или действия людей, отказы или ошибки.

#### 12.2.4 ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ

##### 12.2.4.1 Балльная оценка (индексные методы)

12.2.4.1.1 Балльная оценка характерна для количественной оценки риска, которая появилась с возникновением шкалы страховой оценки. Этот подход был расширен, и нашел применение в разных сферах. В целом, при использовании методов балльной оценки пожарного риска выбранным переменным присваиваются значения, основываясь на экспертной оценке и прошлом опыте. Выбранные переменные представляют как положительные, так и отрицательные компоненты противопожарной защиты, а присвоенные значения затем обрабатываются с помощью некой комбинации математических функций до получения единственного значения. Для ранжирования пожарного риска полученное значение можно сравнить с результатами других аналогичных оценок.

12.2.4.1.2 Данный метод является полезным и мощным экономически эффективным инструментом, который может обеспечить важную оценку пожарного риска, особенно когда углубленный анализ не применим.

12.2.4.1.3 Балльную оценку или ранжирование рисков можно назвать систематическим комбинированием релевантных факторов противопожарной защиты. Одно из основных допущений, на котором основан метод балльной оценки, заключается в том, что относительно небольшое число факторов приводят к большому количеству проблем, возникающих при противопожарной защите. Для систематического комбинирования релевантных факторов противопожарной защиты необходимо, чтобы они были измеримыми. Как выявление релевантных факторов, так и способ их комбинирования требуют рассмотрения допустимого уровня риска, достижение которого должно стать целью.

12.2.4.1.4 Разновидности подходов к балльной оценке пожарного риска фактически не ограничены. К показательным примерам ранжирования пожарного риска относятся: оценка противопожарного страхования, индекс Ду для оценки пожаро- и взрывобезопасности и система оценки пожарной безопасности. Их краткое описание приведено ниже. Эти и другие примеры подробно описаны в «Руководстве SFPE по противопожарному проектированию».

##### 12.2.4.1.4.1 Оценка противопожарного страхования

12.2.4.1.4.1.1 Наиболее распространенной шкалой страховой оценки является шкала оценки имущества, разработанная Ведомством страховых услуг США. Для каждого здания рассчитывается процентный тариф в зависимости от типа его использования на основе таблиц с тарифами по классам помещений, скорректированных с учетом показателей, таких как опасные факторы, характерные для конкретного типа помещений. Основной класс здания присваивается в зависимости от огнестойкости несущих стен, перекрытий и кровли. Тарифная ставка при противопожарном страховании здания рассчитывается на основе тарифа в зависимости

от типа использования и класса здания, скорректированного с учетом таких факторов, как воздействие на данное здание пожара, происходящего в соседних зданиях, а также защита, обеспечиваемая переносными огнетушителями, системами пожарной сигнализации и т.п.

12.2.4.1.4.1.2 Важным понятием оценки противопожарного страхования является применение практики убытков. В целом, показатели из таблиц и переводные коэффициенты основаны на актуарном анализе убытков от пожаров, покрываемых страховыми компаниями и зарегистрированных в страховом секторе.

12.2.4.1.4.2 Индекс Доу для оценки пожаро- и взрывобезопасности. Американская химическая компания «Доу Кемикал Кампани» разработала метод индекса Доу для оценки пожаро- и взрывобезопасности. Индекс Доу для оценки пожаро- и взрывобезопасности остается ценным инструментом отбора, который помогает в количественном выражении ожидаемого ущерба от возможного пожара, взрыва и химических реакций, а также в определении оборудования, которое может привести к возникновению или усилению такого события. С помощью данного метода можно оценивать риски, связанные с хранением, обработкой или работой с легко воспламеняющимися, горючими или реактивными материалами. Важное применение индекса Доу заключается в том, что он служит основой для более подробной количественной оценки риска, а также обеспечивает необходимую глубину подобного исследования.

12.2.4.1.4.3 Система оценки пожарной безопасности (FSSES)

12.2.4.1.4.3.1 Система оценки пожарной безопасности (FSSES) является балльной оценкой рисков в целях определения эквивалентности с документом NFPA 101 «Нормы безопасности» [14] для определенных учреждений закрытого типа. Метод был разработан в Национальном институте стандартов и технологий США (NIST) с целью создания единой процедуры оценки учреждений закрытого типа для определения того, какие меры позволят обеспечить уровень пожарной безопасности, эквивалентный тому, что заложен в «Нормах безопасности».

12.2.4.1.4.3.2 Система оценки пожарной безопасности (FSSES) делит здание на пожарные зоны. Производится оценка этих зон. Затем для каждой из зон вычисляется риск в зависимости от типа использования, основываясь на значениях, присвоенных ряду параметров риска. Эти параметры риска определяются на основе экспертной групповой оценки, осуществляемой специалистами по пожарной безопасности, и представляют собой мнение группы экспертов. Рассчитанное значение риска сравнивается с заданными минимальными значениями для определения того, эквивалентен ли уровень безопасности этой зоны тому, что указан в «Нормах безопасности».

12.2.4.2 Матрицы рисков и контуры рисков

Матрицы рисков и контуры рисков являются методами, которые занимают положение между балльными оценками и полноценными вероятностными методами.

12.2.4.2.1 Матрицы рисков. Как правило, матрица рисков обеспечивает дискретное деление на части соответствующих последствий в одной плоскости и соответствующей частоты в другой плоскости. Каждая ячейка матрицы может включать в себя описание известных опасных факторов или тех факторов, которые считаются сочетающимися в себе тяжесть последствий с частотой, а также может использоваться для записи мнений о допустимости таких рисков и/или рекомендаций по мерам их снижения.

12.2.4.2.2 Контуры рисков. Контур риска является недискретным аналогом матрицы рисков. На двумерном графике, где одна ось является осью последствий, а другая – осью вероятностей, изображают кривые, отражающие линии постоянного потенциального риска. Точки внутри контура отражают риск больший или равный риску, представленному границей контура.

12.2.4.3 Метод оценки пожарной безопасности здания (BFSEM)

12.2.4.3.1 Метод оценки пожарной безопасности здания (BFSEM) является структурированной основой для оценки пожарной безопасности здания, которую можно использовать для анализа рисков. С помощью данного метода пользователь может оценить частоту возгорания, рост пожара и распространение пожара по зданию, направив внимание на такие факторы, как топливная нагрузка, тип использования, компоненты активной противопожарной защиты и особенности конструкции. Для оценки частоты рассматриваемых событий могут присваиваться субъективные вероятности, основанные на опыте и инженерной оценке или статистических данных.

12.2.4.3.2 При использовании данного метода пожарная безопасность здания оценивается на основе опыта и инженерной оценки или, при необходимости, детерминированных расчетов, касающихся того, как пожар будет развиваться и распространяться, учитывая связанные с пожаром факторы, такие как топливная нагрузка, расположение топлива и системы противопожарной защиты (обнаружение пожара, пожаротушение, целостность противопожарных преград и т.п.).

12.2.5 КАЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ

12.2.5.1 Метод словесных описаний

12.2.5.1.1 Словесные описания состоят из серии рекомендаций (правил), касающихся пожарного риска и безопасности. По всей вероятности, словесное описание является наиболее легким подходом к оценке пожарного риска и основывается на наблюдении, что огонь способен разрушать некоторые материалы, такие как дерево, мех и плоть. Понимание этого привело к тому, что родители стали давать наставления своим детям об опасности неосторожного обращения с огнем. Вначале словесные описания были гораздо более простыми и не давали всестороннего охвата опасных факторов, поэтому не обеспечивали основательного анализа.

12.2.5.1.2 Метод словесных описаний достиг вершины своего развития в существующих многотомных нормах, издаваемых Национальной ассоциацией по противопожарной защите (NFPA). Они содержат большой объем текущей информации по пожарной безопасности. Информация представлена в форме различных опас-

ных условий и способов их снижения или устранения. Метод словесных описаний в их современном виде часто является более упрощенным практическим инструментом, служащим опорой для базовых условий.

12.2.5.1.3 Метод словесных описаний не дает количественной оценки пожарного риска; вместо этого, риск признается допустимым, если его уровень согласуется с опубликованными рекомендациями. Критерий один: риск признается либо допустимым, либо недопустимым; при этом, если риск признается допустимым, остаточный риск никогда не оценивается и не подвергается количественному выражению. Словесные описания не могут охватить бесчисленное множество видов человеческой деятельности и действий. Несмотря на то, что разные пожароопасные ситуации имеют одну основу, они существенно отличаются в деталях.

#### 12.2.5.2 Контрольные списки

12.2.5.2.1 Контрольный список является распространенным вспомогательным средством обеспечения пожарной безопасности и состоит из перечня опасных факторов, как правило, в сочетании с рекомендуемыми действиями. Обычно контрольный список является менее обобщенным по сравнению со стандартом или типовыми нормами. Он может быть очень конкретным и предназначаться только для одного класса зданий под управлением одного владельца и отражать конкретные моменты, вызывающие опасения у этого владельца.

12.2.5.2.2 Контрольный список является практическим инструментом для помощи в оценке здания относительно стандарта или норм, которые являются основой для данного контрольного списка. Лишь в очень редких случаях все критерии норм или стандарта применяются к одному зданию. Инженер по противопожарному проектированию должен сосредоточить свое внимание только на тех требованиях, которые применимы для конкретного проекта. Контрольный список может помочь в этом процессе. Кроме того, он облегчает чтение и понимание требований и контроль за соблюдением норм.

12.2.5.2.3 При использовании контрольных списков специалисты сталкиваются с вопросом сочетания практичности их применения с простотой интерпретации. В длинном контрольном списке может быть перечислено до 50 факторов пожарной безопасности, каждый из которых описан наглядным или измеряемым образом, но, вероятно, не все эти 50 пунктов будут важны при осуществлении сравнения. С другой стороны, короткий контрольный список обычно включает в себя концептуальные особенности пожарной безопасности, все из которых могут быть очень важны, но нуждаются в интерпретации, чтобы их можно было измерить.

12.2.5.2.4 Контрольные списки не отражают взаимодействия между факторами пожарного риска, включая то, каким образом значимость одного фактора пожарного риска меняется как функция проявления другого фактора. Например, относительная значимость гидрантов, спринклеров и огнетушителей не постоянна, а зависит от особенностей формы и использования конструкции.

#### 12.2.6 МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКА

12.2.6.1 Из-за сложности процедуры анализа риска компьютерные модели оценки риска часто применяются для того, чтобы произвести оценку нескольких сценариев за относительно короткий промежуток времени.

12.2.6.2 В целом, в моделях оценки риска используется подход к моделированию, основанный на событиях, при котором события характеризуются посредством дискретного времени и вероятности возникновения. Основанный на событиях подход используется для определения результатов сценариев роста и распространения пожара в плане времени возникновения несовместимых с жизнью условий и ущерба. Последствие этих результатов выражается в количестве людей, попавших в условия, несовместимые с жизнью, и в ущербе, нанесенном имуществу.

12.2.6.3 В разработанных моделях оценки риска в связи со сложностью и недостаточным пониманием явлений пожара и поведения людей при математическом моделировании используются завышенные допущения и аппроксимации. Кроме того, не все аспекты моделей оценки риска полностью прошли верификацию на основе экспериментов, и пользователи должны понимать ограничения этих моделей.

12.2.6.4 Некоторые модели оценки риска являются относительно отработанными, применялись для исследований на конкретных реальных примерах и имеют грамотно составленную документацию. С другой стороны, некоторые модели еще не полностью разработаны, не проходили оценку или не имеют полной документации. Подробную информацию по моделям можно найти в других источниках.

### 12.3 Представление результатов оценки риска

12.3.1 Задача представления результатов оценки риска состоит в следующем:

1. представление результатов оценки риска в виде графического профиля риска для помощи в понимании существующего риска относительно рассматриваемых объектов;

2. графическое представление различий риска, возникающих при разных стратегиях риска;

3. ширина полосы неопределенности, связанная с пунктами 1 и 2, позволяющая оценить альтернативные методы управления рисками.

#### 12.3.2 ПРОФИЛИ РИСКА

Профиль риска показывает оценку индивидуального риска как функцию расстояния от источника риска. Индивидуальный риск может быть вероятностью травмы или смерти человека в конкретном месте в пределах опасной зоны. Этот тип графика двумерный (риск относительно расстояния) и является упрощенным отображением графика с контуром индивидуального риска. Для использования этого формата должны быть удовлетворены два условия: источник риска должен быть приближенно равен точечному источнику, а распределение риска должно быть равным во всех направлениях.

#### 12.3.3 КОНТУРЫ РИСКА

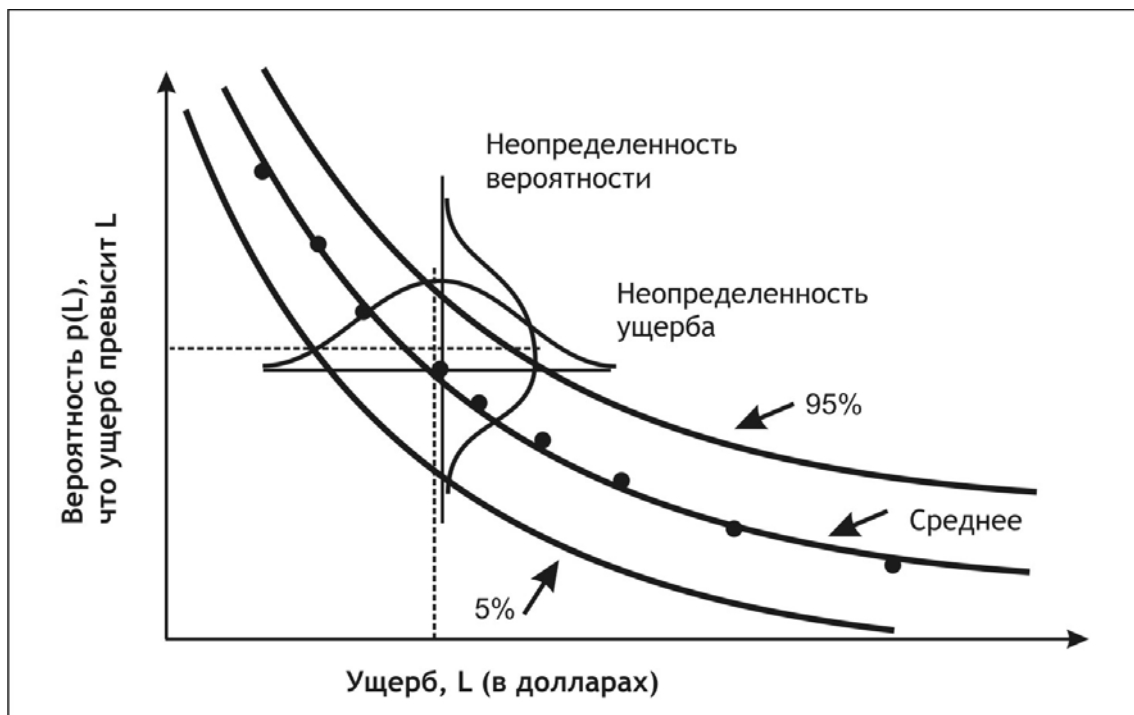
Контур риска показывает оценки индивидуального риска в конкретных точках на карте.

#### 12.3.4 КРИВЫЕ EP и F-N

12.3.4.1 Кривая вероятности превышения ущерба (EP) отражает вероятность того, что определенный уровень ущерба будет превышен на ежегодной основе. Ущерб может быть выражен в долларах, количестве смертельных случаев, заболеваний или в иных показателях. Точность кривой EP зависит от способности адекватно оценивать влияние событий разной вероятности и масштаба, используя разные единицы анализа.

Для получения кривой EP необходимо объединить совокупность событий, которые могут привести к заданному ущербу, и затем определить итоговые вероятности превышения ущербов разных масштабов. Это осуществляется с использованием вероятностной оценки риска. Основываясь на этих расчетах, становится возможным построить среднюю кривую EP, как показано на рис.12-1.

Основные моменты, которые необходимо учитывать при построении кривой EP, включают в себя степень неопределенности относительно как вероятности, так и последствий события. По своей природе кривой EP присуща неопределенность вероятности возникновения события и масштаба ущерба, выраженного в долларах. Эта неопределенность отражена в кривых с 5%- и 95%-ным доверительным интервалом на рис.12-1.



**Рис.12-1. Пример кривой EP**

12.3.4.2 Распространенной формой отображения социального риска, которая учитывает частоту возникновения многочисленных жертв в результате опасного события, является кривая «частота–количество» (F-N). Кривая F-N – это график кумулятивной частоты относительно последствий (выраженных в виде количества смертельных случаев). Как правило, применяется график в логарифмическом масштабе, поскольку частота и количество смертельных случаев варьируются в диапазоне нескольких порядков величины. Кроме того, часто отображается воздействие выбранных случаев на итоговую кривую F-N, поскольку это помогает выявить основные действующие факторы риска.

12.3.4.3 Кривые EP (избыточная вероятность возникновения при превышении значения тяжести) или кривые F-N являются полезными инструментами для оценки итоговой избыточной частоты при превышении степени тяжести последствий (таких как: ущерб, выраженный в долларах, смертность или поврежденная территория). Создание кривых EP или F-N выполняется на основе упорядочивания сценариев или реальных происшествий с использованием результата в качестве переменной для ранжирования. После этого выполняется обратное интегрирование от самой высокой до самой низкой степени тяжести по вероятностям или частотам происшествий. По окончании интегрирования получают итоговую вероятность или частоту, когда превышена конкретная степень тяжести.

12.3.4.4 Составление кривых EP или F-N является желательным, поскольку они рассматривают частоту не только отдельно взятого сценария с определенной степенью тяжести, а все сценарии, когда степень тяжести отдельного сценария превышена. Затем оценивается частота происшествия или сценария, которые оказываются более тяжелыми, чем предполагалось.

## 13. АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

### 13.1 Общие положения

13.1.1 Неопределенность – это количественное выражение величины и источников погрешности (здесь: погрешности в расчете пожарного риска). В данной главе описаны типы погрешностей и методы, которые можно использовать для количественного выражения величин погрешностей как показателей неопределенности.

13.1.2 Не все типы погрешностей могут по своей сути быть подвержены количественному выражению. В данной главе определены типы погрешностей, для которых неопределенность следует учитывать посредством минимизации, скорее чем количественного выражения.

13.1.3 В данной главе не описаны неопределенности восприятия, неопределенность принятия общественностью и аналогичные неинженерные неопределенности. Подобные неопределенности выходят за пределы данного руководства.

13.1.4 Кроме того, в данной главе предполагается, что анализ риска был выполнен в соответствии с передовым инженерным опытом и, следовательно, лишен обычных аналитических ошибок (таких как: неправильный перевод единиц измерения, математические ошибки, ошибки в программном обеспечении). Такие погрешности также выходят за пределы стандартного анализа неопределенности. Если погрешности в анализе пожарного риска выявлены после его опубликования (тема, выходящая за пределы данного руководства), их следует рассмотреть с использованием методов, аналогичных тем, которые применяются для погрешностей в опубликованных проектах, основанных на предписывающих нормах.

### 13.2 Источники ошибок и неопределенности

#### 13.2.1 СВЯЗЬ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С РАСЧЕТОМ РИСКА

Погрешность может происходить из любого компонента расчета (например, данных, уравнений) или возникать в результате пропуска некоторого элемента, имеющего отношение к расчету.

#### 13.2.2 СВЯЗЬ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С ВАРИАТИВНОСТЬЮ (РАЗБРОСОМ ДАННЫХ)

13.2.2.1 Вариативность определенной переменной, параметра или иного свойства подразумевает ту степень, в которой простираются или рассредоточены значения. В случае с расчетом пожарного риска в здании вариативность подразумевает разброс значений, которые могут наблюдаться в течение срока эксплуатации здания. Расчет пожарного риска должен уловить влияние вариативности и выбрать соответствующие методы анализа для того, чтобы включить ее в оценку риска (например, посредством процесса объединения сценариев в структуры, описанного в главе 8).

13.2.2.2 Вариативность параметров неравнозначна неопределенности. Параметр с большой вариативностью, который, несмотря на это, хорошо понятен и охарактеризован, может привести очень малую неопределенность в оценку риска, поскольку можно продемонстрировать, что возможная погрешность анализируемого параметра мала. Хотя некоторые методы решений, используемые для учета вариативности параметров математически являются такими же, которые можно использовать для объединения неопределенностей, как описано в п.13.3.4.4, замена понятия «вариативность параметра» понятием «неопределенность параметра» может привести к неадекватным результатам.

#### 13.2.3 ТИПЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ДРУГИМ ГЛАВАМ ДАННОГО РУКОВОДСТВА

На рис.1-1 представлена блок-схема, отображающая подход, который следует применять при проведении оценки пожарного риска. В данном подразделе приводится краткая информация о том, как могут возникать неопределенности в ходе каждого из этапов процесса оценки пожарного риска.

##### 13.2.3.1 Содержание и цели проекта (глава 4)

На данном этапе определяется содержание проекта. Если определение содержания проекта проведено плохо, может возникнуть противоречие между заявленным и предполагаемым содержанием. Однако, анализ неопределенности обычно не учитывает неопределенность, возникающую на данном этапе. Частично это связано с тем, что данное руководство не делает попыток учесть неопределенности, связанные с восприятием наблюдателя, практическими целями и культурными оценками. Если существует неопределенность в плане содержания, поскольку она влияет на результаты оценки пожарного риска, ее необходимо устранить до того, как будет сформирована документация. (Рекомендуется учитывать неопределенности, относящиеся к содержанию, как можно раньше.)

##### 13.2.3.2 Задачи, система показателей и пороговые значения (глава 5)

На данном этапе происходит перевод целей безопасности в задачи, систему показателей и пороговые значения допустимости риска. Поскольку на данном этапе может возникнуть погрешность при отклонении от предполагаемого содержания, неопределенность в этом процессе должна быть сведена к минимуму с использованием того же подхода, который предлагается для неопределенности в содержании (п.13.2.3.1).

##### 13.2.3.3 Опасные факторы (глава 6)

На данном этапе происходит определение опасных факторов, которые содействуют пожарному риску. Хотя нет необходимости выявлять каждый возможный опасный фактор, процесс их выявления должен быть систематизированным и всесторонним, чтобы убедиться, что неопределенность, связанная с данным этапом незначительна. Неопределенность на данном этапе возникает из неучтенных опасных факторов, и подобные погрешности измерить нелегко. Поскольку количественно выразить неопределенность нелегко, работа с неопределенностью на данном этапе сводится к нахождению положительных, явных доказательств того, что были

предприняты шаги по достижению всестороннего охвата всех опасных факторов, такие как использование методов по систематическому анализу пожарного опыта и иных данных по потенциальным опасностям. Только в этом случае исключение неопределенности этого типа из вычисления неопределенностей будет считаться обоснованным.

#### 13.2.3.4 Сценарии пожара (глава 7)

На данном этапе создаются сценарии пожара. Как и в случае с предыдущим этапом, неопределенность, возникающая на данном этапе, должна быть маленькой по сравнению с общей неопределенностью, и она в любом случае не может быть легко выражена количественно. Убедиться в том, что никакие важные сценарии не упущены, лучше всего можно путем точного обеспечения всесторонности процесса определения сценариев. Описание этого процесса завершается в главе 8.

#### 13.2.3.5 Объединение сценариев пожара в структуры (глава 8)

На данном этапе выявленные ранее сценарии объединяются в поддающуюся обработке структуру сценариев таким образом, чтобы каждый сценарий был связан с группой (кластером) сценариев, которая будет подвергнута анализу. Каждый кластер сценариев содержит сценарии, для которых предполагается, что среднее последствие с присвоенной ему частотой хорошо представлено последствием показательного сценария группы (кластера). Погрешность, связанная с упущением сценариев из структуры сценариев не может быть легко измерена, но может быть устранена путем использования явного отображения, показывающего, как все сценарии представлены группой (кластером). Погрешность, связанная с выбором показательного сценария, может быть выражена количественно, и будет относиться к вариативности характеристик сценариев внутри кластера (т.е. тенденция структуры сценариев с малым количеством кластеров иметь большие кластеры, содержащие большое количество сценариев и большую вариативность).

#### 13.2.3.6 Данные (глава 9)

На данном этапе определяются и оцениваются данные, которые будут использоваться для поддержки анализа пожарного риска. Значения данных могут быть взяты из лабораторных экспериментов, измерений в полевых условиях (включая реконструкцию и описание пожара) и экспертную оценку. Существуют методы оценки прецизионности, погрешности измерений и другие сводные измерения величины погрешности по каждому источнику данных.

#### 13.2.3.7 Частотный анализ (глава 10)

На данном этапе оценивается возможность возникновения группы (кластера) сценариев. Существует связанная с этим процессом неопределенность, которую необходимо учитывать.

#### 13.2.3.8 Анализ последствий (глава 11)

На данном этапе оцениваются потенциальные воздействия, связанные с показательным сценарием пожара. Существует связанная с этим процессом неопределенность, которую необходимо учитывать.

#### 13.2.3.9 Расчет риска (глава 12)

На данном этапе объединяются результаты анализа вероятности/частотного анализа и анализа последствий. Может существовать неопределенность, связанная с этим процессом, которую необходимо учитывать.

#### 13.2.3.10 Оценка риска (глава 14)

На данном этапе осуществляется сравнение пороговых значений допустимости риска из главы 5 с результатами расчета риска из главы 12. На данном этапе новых источников неопределенности не возникает.

#### 13.2.3.11 Документация (глава 15)

На данном этапе производится документирование результатов анализа пожарного риска. Анализ неопределенности, как правило, не учитывает погрешности, вносимые в документацию о том, что происходило в ходе анализа риска. Должна быть проведена проверка для снижения возможности внесения погрешностей в процессе составления документации.

### 13.3 Рекомендуемый порядок оценки неопределенности

13.3.1 Рекомендуются пять основных шагов по проведению анализа неопределенности в контексте оценки пожарного риска.

13.3.2 Шаг 1. Выявление источников погрешности и принятие решений на руководящем уровне о том, как учитывать каждый тип или источник погрешности.

13.3.2.1 Первый шаг в осуществлении анализа погрешности заключается в выявлении источников возможных погрешностей, которые могут повлиять на результаты каждой задачи. Классифицирование источников погрешностей в виде модели или параметра могут помочь специалистам, осуществляющим анализ, выявить источники, имеющие отношение к конкретной оценке пожарного риска. Преимущество такой классификации состоит в том, что модели и параметры в пределах оценки риска систематически анализируются. После того, как источники неопределенностей будут выявлены, специалистам, осуществляющим анализ, следует перейти к действиям, описанным в пп.13.3.2.2 - 13.3.2.4.

13.3.2.2 Выявить погрешности, которые не будут подвергнуты количественному выражению при анализе неопределенности и причины этого. К причинам относятся:

- а) тип погрешности лежит за пределами содержания анализа неопределенности;
- б) тип погрешности нелегко измерить;
- с) величина этого типа погрешности считается слишком малой, чтобы влиять на расчет общей погрешности.

По каждому из этих утверждений должно быть приведено логическое обоснование, а также конкретный подход, применяемый для учета неопределенности, такой как:

- учет погрешности путем использования процедуры анализа качества для обеспечения правильности и завершенности;
- учет погрешности или чувствительности только в качественном выражении (например, определение тех сценариев, которые будут подвержены влиянию, и почему результат будет незначителен);
- решение о том, что неопределенность не будет (не может быть) учтена, с обязательным указанием причин.

13.3.2.3 Разработать общую стратегию анализа неопределенности тех погрешностей, которые должны быть выражены количественно. Эта стратегия включает в себя конкретные стратегии количественного выражения конкретных типов погрешностей (шаг 2), осуществление этих стратегий и количественное выражение погрешностей (шаг 3), вычисление разложения неопределенности и суммарного действия всех составляющих погрешностей на неопределенность итогового расчетного риска (шаг 4) и интерпретацию результатов (шаг 5).

13.3.2.4 В ходе анализа неопределенности важно явным образом учитывать погрешности, возникающие при использовании имеющихся данных из одного контекста, чтобы сделать расчеты в подобном, но не идентичном втором контексте. Погрешности, возникающие из несоответствий в таких действиях, могут состоять в следующем:

- Отличия в процессах. Когда и как данные из одного процесса/отрасли применяются к другому процессу/отрасли. Например, достоверны ли данные, полученные об эффективности пожаротушения на химических предприятиях для определения эффективности пожаротушения в торговых центрах, или можно ли использовать статистические данные о пожарах в жилых зданиях для определения возможности и типов пожаров в офисных зданиях?
- Отличия в зданиях/помещениях. Как база общих данных, так и база данных по конкретному типу зданий/помещений должна учитывать отличия, существующие между зданиями/помещениями, вошедшими в базу данных, и между конкретным применением и общим отраслевым проектом и практикой, которые могут влиять на данные. Например, специалист, осуществляющий анализ, должен продемонстрировать, что данные о функционировании вентиляционных систем во всех больницах достоверны для применения при противопожарном проектировании конкретной больницы, учитывая неполноту данных (не все события или данные о надзоре могут быть известны) и широкий охват противопожарного проектирования и практики.
- Отличия в сценариях. Использование данных, собранных по одному типу пожара, для другого типа пожара должно быть обоснованным. Например, эффективность тушения пожарными горячей резины по сравнению с тушением горячей мебели.

### 13.3.3 Шаг 2. Разработка стратегии анализа погрешностей для конкретных типов погрешностей.

13.3.3.1 Погрешности, когда оценка включает в себя измерение на основе наблюдений. Эти погрешности наиболее хорошо поддаются подробному, явному количественному выражению с применением распределений вероятностей (в шаге 3) и обязательным распространением распределений вероятностей с использованием численных методов типа методов Монте-Карло (в шаге 4).

13.3.3.2 Погрешности, когда оценка не включает в себя измерение на основе наблюдений, таких как экспертная оценка. Поскольку в таких случаях редко существует основа для присвоения погрешностям распределений вероятностей, обычно возникает необходимость оценить неопределенность исходя из вариативности (разброса) параметров. Может быть определен базовый пример в качестве лучшей модели оценки и/или значений данных, и может быть выполнен анализ чувствительности, меняющий рассматриваемые модели или параметры и фиксирующий документально количественное воздействие на общие результаты.

13.3.3.3 При разработке стратегии полезно различать случайные и систематические погрешности. Случайные погрешности имеют тенденцию изменяться в зависимости от времени (или аналогичного параметра), и обычно могут быть учтены с помощью статистической оценки имеющейся информации, в то время как систематические погрешности обычно считаются неизменными.

### 13.3.4 Шаг 3. Количественное выражение неопределенностей, связанных с каждой частью расчета риска.

13.3.4.1 Неопределенности, связанные с источниками погрешности, выявленные в шаге 1, должны быть выражены количественно в соответствии с выбранной(-ыми) стратегией(-ями) в шаге 2. Как отмечалось, к этим методам обычно относится либо классический, количественный анализ неопределенности, либо разновидность анализа чувствительности.

#### 13.3.4.2 Классический анализ неопределенности

Методы анализа неопределенности были разработаны для оценки ожидаемой погрешности и колебаний, которые возникают в ходе измерений и испытаний. Основными целями такого анализа являются: прогнозирование ожиданий, предшествующих эксперименту (например, приведет ли эксперимент к полезным результатам?), оценка точности измерительной системы (например, даст ли измерительный прибор приемлемую информацию?) и оценка получающейся в результате неопределенности (например, доверительный интервал для результата испытания). При измерении и проведении испытаний неопределенность, как правило, классифицируется как случайная или систематическая погрешность. Методы, используемые специалистами по измерению и проведению испытаний, могут помочь в оценке и распространении неопределенностей, в особенности, неопределенностей данных.

#### 13.3.4.3 Анализ чувствительности

13.3.4.3.1 Анализ чувствительности показывает относительную величину изменения в выходных данных, которую можно ожидать при изменении входного параметра. Изменения одних параметров приводят к не-



большим изменениям в прогнозах моделей, в то же время изменения других параметров могут привести к большим изменениям в прогнозируемых значениях. Результаты анализа чувствительности определяют те входные параметры, которые оказывают наибольшее влияние на выходные переменные или вызывают наибольшие изменения в них.

13.3.4.3.2 По каждому входному параметру выбирается номинальное значение для определения базового примера. Затем входные параметры по отдельности изменяют в пределах ограниченного диапазона. Если изменение в рассматриваемой выходной переменной больше, чем изменение во входном параметре, модель является чувствительной к этому параметру. Если выходная переменная меняется очень мало при относительно большом изменении во входном параметре, модель менее чувствительна к этому параметру.

13.3.4.3.3 Например, если изменение во входном параметре на 10% приводит к изменению в прогнозируемом значении менее, чем на 10%, то модель имеет более низкую чувствительность к этой входной переменной. Однако, если изменение во входном параметре на 10% приводит к изменению в прогнозируемом значении более, чем на 10%, то модель имеет более высокую чувствительность к этой входной переменной.

13.3.4.4 Чувствительность, вариативность и неопределенность

13.3.4.4.1 Параметр с большой вариативностью, но низкой чувствительностью принесет очень малую неопределенность в оценку риска, поскольку даже большая погрешность в параметре (возможная вследствие его большой вариативности) приведет к малой погрешности оценки (вследствие низкой чувствительности). Иногда переменная с большой вариативностью имеет высокую чувствительность в части диапазона с малой или низкой вероятностью и низкую чувствительность в остальной части диапазона. Иногда бывает высокая чувствительность, зависящая от того, входит переменная в тот или иной поддиапазон, но низкая чувствительность к ее точному значению в пределах широких поддиапазонов.

13.3.4.4.2 В любом случае анализ чувствительности указывает на те моменты, которые должны быть рассмотрены. Возьмем в качестве примера температуру наружного воздуха. В разных сценариях можно рассматривать разные температуры наружного воздуха. Если можно продемонстрировать, что температура наружного воздуха имеет значительное влияние на последствия, когда температура воздуха высокая, но не когда она низкая, тогда это воздействие можно рассматривать на основе структуры сценариев, и вариативность будет явным образом учтена. По этому вопросу нет необходимости проводить дополнительный анализ неопределенности.

13.3.4.4.3 Если во всех сценариях используется одно значение температуры наружного воздуха, взятое из диапазона с высокой чувствительностью, тогда вариативность не была явным образом учтена, но расчет дает завышенную оценку риска. Если используется одно значение температуры воздуха, но оно взято из диапазона с низкой чувствительностью, тогда вариативность не была явным образом учтена, и расчет дает заниженную оценку риска. В обоих случаях неопределенность, связанная с прогнозированием риска, будет выше, чем тогда, когда структура сценариев учитывает вариативность. В первом случае, если результаты будут представлены соответствующим образом, их можно считать пригодными. Во втором случае (заниженный риск, большая, но неизмеренная неопределенность), результаты, по всей вероятности, окажутся обманчивыми, как бы хорошо они ни были представлены.

13.3.5 Шаг 4. Распространение неопределенностей.

13.3.5.1 В шагах 1-3 неопределенность учитывается отдельно и индивидуально по каждому компоненту расчета пожарного риска. После того, как это будет сделано, необходимо определить величину и форму общей неопределенности, присущей выполненным расчетам риска по проекту. Этот шаг обычно называется "распространением" неопределенности через расчет.

13.3.5.2 Если шаги 1-3 привели к классическому анализу неопределенности, то в результате будут получены распределения вероятностей для выявления погрешности среди компонентов, и неопределенность можно распространить количественно. В некоторых случаях это можно сделать в закрытой форме, используя сложные статистические методы. Чаще используется моделирование по методу Монте-Карло.

13.3.5.3 Еще чаще шаги 1-3 не приводят к тому подробному количественному выражению, которое необходимо для поддержания упорядоченного анализа по распространению неопределенностей. В таких случаях требуется менее упорядоченное, но все же систематическое исследование взаимодействий погрешностей для разных переменных.

13.3.5.4 Например, следует учитывать, есть ли у погрешностей тенденция к накоплению, как у процентов по вкладу. Если одна из переменных может быть изменена в два раза, и вторая может быть изменена в два раза, то может ли результат, основанный на этих переменных, изменяться в четыре раза? Или же наблюдаются независимые друг от друга изменения погрешностей? И, следовательно, расчет, включающий две переменные, каждая из которых может быть изменена в два раза, сам может также быть изменен в 2 раза? Иногда математические действия над переменной могут фактически уменьшать ее вклад в неопределенность. Предположим, что переменная может быть изменена в 4 раза, но в расчете, используется квадратный корень из переменной, что означает, что его вклад в погрешность рассчитанной переменной имеет коэффициент 2.

13.3.5.5 Следует признать, что взаимодействия между выявленными погрешностями не всегда могут быть очевидными. Точные количественные методы могут должным образом зафиксировать взаимодействия между неопределенными моделями и параметрами. Менее точные методы, такие как анализ чувствительности, следует применять с осторожностью, чтобы результаты адекватно фиксировали взаимодействия между неопределенными моделями и параметрами. Аналогичным образом, технические специалисты должны проводить качественный анализ неопределенности, чтобы выводы служили надежной базой для принятия обоснованных решений о риске.

13.3.6 Шаг 5. Оценка воздействия.

#### 13.3.6.1 Анализ переключения

По окончании анализа неопределенности наиболее важным вопросом является то, достаточно ли велики неопределенности, чтобы влиять на проектные решения или общую оценку допустимости проекта. Это исследование воздействия анализа неопределенности носит название анализа переключения, поскольку сосредоточено на том, может ли лучшее решение переключиться на другое решение.

#### 13.3.6.2 Анализ значимости

Анализ значимости является разновидностью анализа чувствительности, который сосредоточен на вопросе переключения для анализов чувствительности, которые не являются достаточно количественными, чтобы обеспечить возможность выполнения утвержденного анализа переключения. Осуществляется численное ранжирование каждого из анализируемых параметров по относительной шкале от 0 до 1. Значимость равная 0 означает, что переменная не влияет на результаты неопределенности. Значимость равная 1 означает полную взаимозависимость, при которой вся неопределенность в результатах вызвана неопределенностью в одном параметре. Этот процесс особенно полезен, когда необходимо продемонстрировать, что неточность конкретных переменных не приводит к значительной неопределенности в результатах.

13.3.6.3 Когда рассматриваемые неопределенности оказывают значительное влияние на решения, связанные с риском, могут быть оправданными следующие попытки:

1. если возможно, снизить некоторые из выявленных неопределенностей с помощью дальнейшего исследования.

2. выбрать более сложный метод анализа неопределенности, который сможет обеспечить более хорошее отражение неопределенности.

13.3.6.4 Существует два основных подхода по представлению неопределенностей, выраженных количественно:

1. Мультипликативные коэффициенты, которые выражают предел диапазона в виде процента от прогнозируемого значения;

2. Аддитивные коэффициенты, называемые пределами безопасности, которые выражают предел диапазона в виде фиксированного значения.

Существуют преимущества и недостатки, связанные с каждым из этих подходов. Для прогнозирования тяжести пожаров (например, температуры) мультипликативные коэффициенты, подходящие для обозначения среднего масштаба, приводят к описанию нереально узких диапазонов для расчетов малых масштабов и нереально широких диапазонов для расчетов крупных масштабов. В свою очередь, обозначение одного аддитивного коэффициента неблагоприятно, поскольку диапазон, указанный как умеренный при средних значениях, окажется слишком большим для малых значений и слишком маленьким для больших. Сочетание дополнительных коэффициентов, аддитивных и мультипликативных, может послужить разумным компромиссом и, когда оно представлено правильным образом, должно быть допустимым.

## **14. ОЦЕНКА ДОПУСТИМОСТИ РИСКА**

### **14.1 Общие положения**

14.1.1 После того как величина риска определена, и неопределенность учтена, необходимо произвести оценку результатов. По своей сути, основой для определения допустимости или недопустимости риска является сравнение расчетного риска (из главы 12), включая учет неопределенности в средствах, методах и данных (из главы 13), с уровнем риска, который был признан допустимым (из главы 5).

14.1.2 Чтобы это сравнение было значимым, средства и методы, используемые для расчета риска и составляющих его вероятностей и последствий, должны обеспечивать такие данные, которые по своей форме будут аналогичны показателям, используемым для описания порогового значения допустимости риска. Кроме того, в ходе анализа должны быть подробно рассмотрены все люди, подверженные воздействию, и характер нанесенного им вреда.

14.1.3 Если бы при анализе не возникало неопределенности, сравнение расчетного риска с пороговым значением допустимости риска показало бы, что риск является допустимым или нет. Однако, при наличии неопределенности, в результате сравнения расчетного риска с пороговым значением допустимости риска возможны три вывода: риск однозначно допустим, риск однозначно недопустим, или оценка не дает однозначного заключения относительно допустимости или недопустимости риска. В случаях, когда расчетный риск очень близок к пороговому значению допустимости риска, следует сделать вывод о невозможности однозначного заключения о допустимости или недопустимости риска.

### **14.2 Примеры однозначной допустимости риска**

14.2.1 Это самый простой из всех возможных результатов. В случаях, когда осуществляется анализ существующего риска на предмет определения его допустимости, можно сделать вывод, что изменения не требуются.

14.2.2 Если целью оценки риска являлось определить, будут ли допустимыми предлагаемые изменения, то можно сделать вывод, что эти изменения подходят для внедрения.

### **14.3 Примеры однозначной недопустимости риска**

14.3.1 Если целью оценки риска являлось проанализировать уровень риска в существующем здании, и оценка риска показывает, что риск однозначно недопустим, то необходимо произвести изменения таким образом, чтобы риск стал допустимым. Существует несколько вариантов снижения риска до допустимого уровня.

#### **14.3.1.1 Снижение риска**

Наиболее эффективным методом разработки средств по снижению риска является выявление групп (кластеров) сценариев, которые содержат наибольший риск, и определение методов по снижению риска, связанного с этими группами (кластерами). Возможными подходами для этого являются: обеспечение дополнительной защиты, применение избыточных систем, устранение опасных факторов или физическое отделение защищаемых объектов от опасных факторов или друг от друга таким образом, чтобы последствия, вызванные опасным фактором, были снижены.

#### **14.3.1.2 Пересмотр порогового значения допустимости риска**

В некоторых случаях ограничения проекта, такие как ограничения бюджета, могут привести к невозможности снижения риска до допустимого уровня. В таких случаях необходимо обсудить с заинтересованными лицами методы, позволяющие сделать риск допустимым (увеличение бюджета проекта, снижение ожиданий относительно риска и т.п.). Нельзя в произвольном порядке снижать порог допустимости риска, чтобы признать расчетный риск допустимым. Тем не менее, возможно конкретизировать пороговое значение допустимости риска, проведя дальнейший анализ или исследование, либо снизив степень завышенности оценки.

### **14.4 Примеры, когда оценка риска не дает однозначного заключения о допустимости или недопустимости риска**

14.4.1 Если оценка риска не дает однозначного заключения о допустимости или недопустимости риска, необходимо конкретизировать оценку риска. Это можно достичь несколькими методами. К ним относятся:

- снижение неопределенностей в примененных данных путем увеличения объема набора данных либо использования набора данных, имеющего меньшую неопределенность;
- если использовались упрощенные методы оценки риска, можно применить более полные методы. Например, если использовался полуколичественный метод, может быть необходимо применить количественный метод;
- если использовались простые методы для оценки последствий, следует применить более сложные методы. Например, если использовалась зонная модель для вычисления температур верхнего слоя в помещении, которое имеет потолок с затрудненным к нему доступом, следует применить моделирование на основе вычислительной гидродинамики.

14.4.2 Если более точно определить риск с использованием вышеуказанных методов невозможно, риск не следует считать допустимым, а необходимо рассмотреть возможность применения методов из п.14.3.

## **14.5 Возможные проблемы при оценке риска**

14.5.1 Как в случае с любым типом инженерного анализа, в процессе оценки риска могут возникать проблемы. В данном разделе рассматриваются некоторые распространенные проблемы и их возможные решения.

14.5.2 Применение разных данных или методов анализа приводит к разным заключениям. Периодически риск, связанный с конкретным зданием или проектом, оценивается с использованием разных методов. Например, при обращении к стороннему эксперту сторонний эксперт может использовать для оценки риска метод или набор данных, отличающийся от тех, что использовал специалист, проводивший оценку риска. Аналогичным образом, специалист, осуществляющий оценку риска, может использовать несколько разных методов или наборов данных для оценки риска для здания или проекта в целях повышения своей уверенности в полученных заключениях.

14.5.3 Одни пороговые значения допустимости риска достигаются, а другие – нет.

14.5.3.1 При наличии нескольких целей по пожарной безопасности оценка риска может показать, что одни цели достигаются, а другие – нет. Примером может служить проект, который удовлетворяет пороговым значениям риска, связанного с безопасностью людей, но не удовлетворяет пороговым значениям допустимости риска, связанного с безопасностью имущества.

14.5.3.2 В общем и целом, чтобы риск был допустимым, все пороговые значения риска должны быть соблюдены. В случаях, когда соблюдены не все пороговые значения допустимости риска, риск должен быть признан недопустимым. В п.14.3 даны рекомендации о том, как поступать в таких случаях.

14.5.3.3 При проведении оценок риска, в которых рассматривается несколько типов целей (например, безопасность людей, защита имущества, непрерывность деятельности, защита окружающей среды), как правило, существуют несколько пороговых значений допустимости риска. В этих случаях следует избегать суммирования разных пороговых значений риска в единый показатель (такой как денежное выражение годового ущерба).

14.5.3.4 Когда несколько типов пороговых значений допустимости риска суммируются в единый показатель, существует возможность того, что относительная величина, связанная с одной целью будет больше тех, что связаны с другими целями; это может привести к погрешности измерения или искажению результата. Например, промышленный объект может иметь цели по защите имущества и безопасности людей. На объекте может находиться небольшое количество людей, подвергаемое опасности возникновения пожара, в то время как стоимость подвергаемого опасности имущества может быть очень большой. Если объединить пороговое значение допустимости риска, связанное с обеими целями, в единый показатель – денежное выражение годового ущерба, например, присвоив жизни людей денежное выражение – существует возможность того, что стоимость подвергаемого опасности имущества будет значительно выше, чем стоимость жизни людей, находящихся на объекте. Если в этом случае риск признается недопустимым, наиболее эффективными решениями будут считаться те, которые приведут к снижению риска имуществу, и они могут не учитывать должным образом риск безопасности людей.

14.5.3.5 Более эффективным подходом является рассмотрение каждого типа порогового значения допустимости риска по отдельности. Если риск оценивается как недопустимый, следует рассмотреть возможные решения, определив, какая из целей охватывает наибольшую долю риска, признанного недопустимым. Затем можно рассмотреть решения, найдя пути снижения риска, связанного с целью, которая является доминирующей в плане риска. Эту процедуру можно повторять до тех пор, пока не будет достигнут допустимый уровень риска по каждой из целей в отдельности.

## 15. ДОКУМЕНТАЦИЯ

### 15.1 Общие положения

15.1.1 Документация по оценке пожарного риска может включать в себя два основных элемента: отчет о концепции оценки пожарного риска и полную проектную документацию. Основной целью отчета о концепции пожарного риска является описание планируемого подхода к оценке пожарного риска. Полная проектная документация – это полная документация по оценке пожарного риска, которая может включать в себя часть отчета о концепции оценки пожарного риска или весь отчет.

15.1.2 Проектная документация выполняет ряд функций. К ним относятся:

- передача информации о риске, связанном с проектом или зданием, заинтересованным лицам проекта;
- основание, опираясь на которое представители надзорных органов, сторонние эксперты и другие заинтересованные лица могут проводить проверку оценки риска;
- анализ того, приведут ли изменения в здании или помещении, для которых выполнялась оценка риска, к изменениям основания для оценки риска.

15.1.3 Правильно составленная документация по оценке риска необходима для обеспечения понимания всеми заинтересованными лицами содержания, методики, ограничений и заключений оценки риска.

### 15.2 Отчет о концепции оценки пожарного риска

15.2.1 Цель отчета о концепции оценки пожарного риска заключается в том, чтобы помочь прийти к согласию о подходе, предлагаемом для оценки риска до начала осуществления подробных работ. В отчет о концепции оценки пожарного риска входит информация о содержании проекта, пороговом значении допустимости риска, опасных факторах, рассматриваемых сценариях и сценариях, которые предлагается использовать в оценке. Благодаря ведению документации и достижению согласия относительно подхода, предлагаемого для оценки риска, вероятность того, что в дальнейшем в ходе оценки риска возникнет необходимость значительных изменений, может быть снижена.

#### 15.2.2 ПОДГОТОВКА ОТЧЕТА О КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

15.2.2.1 Отчет о концепции оценки пожарного риска может быть подготовлен специалистом по оценке риска и представлен другим заинтересованным лицам на утверждение, либо подготовлен совместно специалистом по оценке риска и одним или несколькими заинтересованными лицами.

15.2.2.2 Уровень сложности и методы, используемые для подготовки отчета о концепции оценки пожарного риска, варьируются в зависимости от отношений между специалистом по оценке риска и другими заинтересованными лицами и от содержания проекта. Примеры методов, используемых для подготовки концептуального отчета, включают в себя:

- протоколы совещаний и телефонных переговоров, в которых суммируются факторы, по которым достигнуто согласие;
- официальное письмо с просьбой о разрешении на проведение оценки риска определенным образом, которое по очереди подписывается и пересылается обратно заинтересованными лицами, или на который заинтересованные лица дают официальный ответ;
- запись в регистрационном журнале, описывающая телефонный разговор и те мероприятия, которые будут проведены.

#### 15.2.3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

В отчет о концепции оценки пожарного риска должна входить вся информация, необходимая для определения способа, с помощью которого специалист по оценке риска предлагает выполнить оценку. Сюда может относиться следующая информация:

- Документация об участниках проекта. В отчет о концепции оценки пожарного риска должен входить список всех заинтересованных в оценке риска лиц с перечислением их ролей. Специалист по оценке риска также может представить данные о своей квалификации.
- Определение содержания проекта. Содержание оценки пожарного риска должно быть документально отражено в отчете о концепции оценки пожарного риска. Сюда может входить тип рассматриваемого риска (индивидуальный или социальный), определение того, что будет оцениваться в ходе оценки риска, и возможные результаты. Кроме того, в содержание проекта входит определение границ оценки риска. Границами может служить здание, часть здания, отдельные компоненты или части оборудования, процессы и т.д.
- Определение пороговых значений допустимости риска. Если целью оценки риска является определить, обеспечивается ли уровень «допустимого риска», или определить методы достижения допустимого риска, должны быть четко прописаны пороговые значения допустимости/недопустимости для оценки риска, включая то, каким образом были получены эти пороговые значения. Этот шаг можно пропустить, если целью оценки риска является документально зафиксировать существующий уровень риска.
- Цели оценки риска могут быть связаны с риском относительно безопасности людей, имущества, деятельности или окружающей среды. Цели, как правило, выражены в качественной форме, чтобы быть понятными для непрофессионалов.

- Выявление опасных факторов. Опасные факторы, анализ которых будет осуществляться в ходе оценки пожарного риска, должны быть указаны в отчете о концепции оценки пожарного риска.
- Сценарии, используемые для анализа. Точная оценка риска должна рассматривать полный спектр возможных событий. Тем не менее, во многих случаях будет непрактично анализировать каждый возможный сценарий или последовательность. Следовательно, необходимо рассмотреть ряд обобщающих сценариев, которые являются показательными для всего спектра. В документации должно быть указано, какие сценарии были выбраны, и дано соответствующее обоснование тому, почему они признаны показательными для всего спектра возможных сценариев.
- Методы оценки риска. Должно быть дано краткое описание методов, которые предлагается использовать для частотного анализа и анализа последствий, включая их пригодность для оценки риска и ограничения в использовании. Должны быть указаны сторонние оценки метода, выполненные в научных и инженерных кругах.
- Источники данных. Должны быть указаны источники данных, которые предполагается использовать в ходе оценки риска, включая информацию об их пригодности для оценки риска.

### **15.3 Полная проектная документация**

15.3.1 Полная проектная документация обеспечивает полное описание оценки пожарного риска, включая не только документацию о результатах, но и о процессе оценки. Большая часть содержания полной проектной документации основана на отчете о концепции оценки пожарного риска, с дополнениями, указывающими на результаты, полученные в ходе проведения оценки.

15.3.2 Полная проектная документация должна включать в себя следующее:

- Информация об участниках проекта. Должны быть указаны лица, принимающие участие в оценке пожарного риска, и их роли.
- Цель оценки риска. Должна быть указана цель проведения оценки пожарного риска.
- Определение содержания проекта. Должно быть указано итоговое содержание оценки пожарного риска, включая то, что подвергается воздействию, и физические границы, рассматриваемые в оценке риска.
- Характер опасностей. Должен быть указан характер ущерба, наносимого людям, подвергающимся воздействию, который рассматривался в ходе оценки пожарного риска.
- Пороговые значения допустимости риска. Должны быть указаны критерии допустимости/недопустимости риска, включая то, каким образом были получены пороговые значения риска. Этот шаг можно пропустить, если целью оценки риска является документально зафиксировать существующий уровень риска.
- Выявление опасных факторов. Должны быть указаны опасные факторы, анализ которых осуществлялся в ходе оценки риска.
- Оценка опасных факторов. Должны быть указаны результаты анализа опасных факторов.
- Сценарии. Должны быть указаны все группы (кластеры) сценариев, которые были использованы, включая основание для объединения их в группы (кластеры). В документации должно быть указано, почему использованные сценарии или кластеры сценариев являются показательными для совокупности сценариев, которым может быть подвержено здание или помещение. Должны быть указаны типы сценариев, которые не рассматривались по причине того, что они представляют собой незначительный риск, будь то на основании того, что они легко контролируются любым проектом или того, что ни один проект не может их контролировать, включая обоснование решения о том, почему они представляют незначительный риск. Должно быть указано основание для оценки вероятности сценария или группы (кластера) сценариев и, в случае использования групп (кластеров) сценариев, для сценария, выбранного в качестве показательного в плане последствий для данной группы (кластера).
- Методы оценки. Должны быть перечислены методы, использованные для проведения частотного анализа и анализа последствий, включая их пригодность для оценки риска, а также ограничения их использования. Необходимо указать, являются ли методы качественными, полуколичественными или количественными, включая обоснование их пригодности для использования в оценке риска.
- Источники данных. Должны быть указаны источники данных, использованные в оценке риска, включая обоснование их пригодности для оценки риска.
- Информация о частоте и/или вероятности. Должны быть указаны результаты расчетов частоты и/или вероятности.
- Методы, используемые для оценки последствий. Должны быть указаны методы, использованные для анализа последствий, включая обоснование их пригодности для оценки риска.
- Расчетный риск. Должен быть указан рассчитываемый риск.
- Результаты анализа неопределенности. Должны быть указаны методы учета неопределенности в применяемых методах оценки, данных и сценариях и приведена информация, свидетельствующая об уровне доверия, который может быть присвоен результатам оценки риска с учетом работы, проделанной над неопределенностью.

#### **15.3.3 ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ**

15.3.3.1 Должна быть подготовлена документация о совокупности условий, при которых оценка риска считается действительной, и о тех изменениях условий, при которых потребуется проведение новой оценки риска.

15.3.3.2 Необходимо указать все условия, которые установлены для оценки, а также сделанные допущения. К ним могут относиться ограничения по типам помещений, геометрические параметры, оборудование, процессы и т.п.

15.3.3.3 Специалист по оценке риска должен указать все ограничения применяемых методов оценки и то, могут ли они повлиять на продолжительную достоверность оценки риска.

#### 15.3.4 ОТСЛЕЖИВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ

15.3.4.1 Должна быть указана информация о граничных условиях, изложенная языком, понятным специалистам, которые будут отслеживать изменения, а именно: владельцам зданий, или управляющим, или персоналу, осуществляющему техническое обслуживание и ремонт. Кроме того, в документации должно быть указано, кто отвечает за отслеживание изменений. Как правило, эта информация указывается в руководстве по эксплуатации и техническому обслуживанию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] BS 7974:2001. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2001 год  
BS 7974. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2001
- [2] PD 7974-0:2002. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 0: Руководство по структуре проектирования и методам пожарно-технического анализа», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2002 год  
PD 7974-0:2002. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 0: Guide to the design framework and fire safety engineering procedures, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2002
- [3] PD 7974-1:2002. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 1: (Подсистема 1) Возникновение и развитие пожара внутри помещения, где произошло возгорание», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2002 год  
PD 7974-1:2002. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 1: (Sub-system 1) Initiation and development of fire within the enclosure of origin, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2002
- [4] PD 7974-2:2002. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 2: (Подсистема 2) Распространение дыма и токсичных газов внутри и за пределы помещения, где произошло возгорание», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2002 год  
PD 7974-2:2002. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 2: (Sub-system 2) Spread of smoke and toxic gases within and beyond the enclosure of origin, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2002
- [5] PD 7974-3:2002. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 3: (Подсистема 3) Поведение конструкции и распространение пожара за пределы помещения, где произошло возгорание», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2002 год  
PD 7974-3:2002. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 3: (Sub-system 3) Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2002
- [6] PD 7974-4:2002. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 4: (Подсистема 4) Обнаружение пожара и активация систем противопожарной защиты», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2002 год  
PD 7974-4:2002. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 4: (Sub-system 4) Detection of fire and activation of fire protection systems, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2002
- [7] PD 7974-5:2002. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 5: (Подсистема 5) Работа пожарных подразделений», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2002 год  
PD 7974-5:2002. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings Part 5: (Sub-system 5) Fire service intervention, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2002
- [8] PD 7974-6:2002. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 6: (Подсистема 6) Эвакуация», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2002 год  
PD 7974-6:2002. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 6: (Sub-system 6) Evacuation, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2002
- [9] PD 7974-7:2003. «Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий оценке пожарного риска. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 2003 год  
PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic fire risk assessment, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2003



- [10] BS 5588-0:1996. «Противопожарные меры при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий. Часть 0: Руководство к сводам правил по пожарной безопасности для отдельных зданий», Британский институт стандартов (BSI), г. Лондон, Великобритания, 1996 год  
BS 5588-0:1996. Fire precautions in the design, construction and use of buildings. Part 0: Guide to fire safety codes of practice for particular premises/applications, British Standards Institution (BSI), London, UK, 1996
- [11] NFPA 551. «Руководство по анализу оценки пожарного риска», Национальная ассоциация по противопожарной защите (NFPA), г. Куинси, штат Массачусетс, США, издание 2010 года  
NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA, 2010 Edition
- [12] NFPA 550. «Руководство по дереву концепций пожарной безопасности», Национальная ассоциация по противопожарной защите (NFPA), г. Куинси, штат Массачусетс, США, издание 2007 года  
NFPA 550. Guide to the Fire Safety Concepts Tree, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA, 2007 edition
- [13] NFPA 101A. «Руководство по альтернативным подходам к безопасности», Национальная ассоциация по противопожарной защите (NFPA), г. Куинси, штат Массачусетс, США, издание 2010 года  
NFPA 101A. Guide on Alternative Approaches to Life Safety, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA, 2010 edition
- [14] NFPA 101. «Нормы безопасности», Национальная ассоциация по противопожарной защите (NFPA), г. Куинси, штат Массачусетс, США, 2006 год  
NFPA 101. Life Safety Code, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA, 2006
- [15] MIL-STD-882D. «Стандартная практика по безопасности систем», Министерство обороны США, США, 2000 год  
MIL-STD-882D. Standard Practice for System Safety, U.S. Department of Defense, USA, 2000
- [16] «Техническое руководство SFPE по оценке пожарного риска», Общество инженеров противопожарной защиты (SFPE), г. Бетесда, штат Мериленд, США, 2006 год  
SFPE Engineering Guide. Fire Risk Assessment, Society of Fire Protection Engineers (SFPE), Bethesda, MD, USA, 2006
- [17] Грачёв В.Ю. «Обзор гибкого нормирования в строительстве», ООО «СИТИС», г. Екатеринбург, Россия, 2010 год
- [18] Грачёв В.Ю. «Экспертиза и экспертная оценка компьютерных расчётов», ООО «СИТИС», г. Екатеринбург, Россия, 2010 год
- [19] TP-5042. «Валидация математических моделей пожаров. Обзор зарубежных источников», ООО «СИТИС», г. Екатеринбург, Россия, 2009 год