

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ  
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ ОРДЕНА “ЗНАК ПОЧЕТА”  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ»

**ПОСОБИЕ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ  
ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ**

2-е издание, исправленное и дополненное

Москва  
2019

УДК 641.841.3

ББК 38.96

П 77

**Авторский коллектив:**

д-р техн. наук Д.М. Гордиенко, А.Ю. Лагозин,  
д-р техн. наук, проф. Ю.Н. Шебеко, канд. техн. наук А.Ю. Шебеко,  
канд. техн. наук А.В. Зубань, П.А. Леончук,  
канд. техн. наук В.А. Уйстрайх (ФГБУ ВНИИПО МЧС России);  
канд. техн. наук А.А. Панов (ДНПР МЧС России).

**Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / 2-е изд., испр. и доп. М.: ВНИИПО, 2019. 344 с.**

ISBN 978-5-901140-94-9

Пособие разработано в развитие «Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (утвержденное приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404, с изменениями, утвержденными приказом МЧС России от 14 декабря 2010 г. № 649). Представлены разъяснения по расчетным методам по оценке пожарного риска на производственных объектах, приведены сведения о пожаро-взрывоопасных и физико-химических свойствах некоторых распространенных и широко применяемых горючих веществ и материалов, расширенные сведения о частотах реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий и частотах возникновения пожара. Приведены типовые примеры расчетов величин пожарного риска для производственных объектов и их частей.

Предназначено для сотрудников Государственной противопожарной службы, преподавателей и слушателей пожарно-технических и других учебных заведений, специалистов ведомств, научно-исследовательских, экспертных и проектных организаций, испытательных пожарных лабораторий, занимающихся проведением и экспертизой расчетов по оценке пожарного риска.

УДК 641.841.3

ББК 38.96

ISBN 978-59901140-94-9

© МЧС России, 2019

© ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2019

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ</b> .....	5
<b>2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ</b> .....	10
2.1. Анализ пожарной опасности объекта .....	10
2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций .....	15
2.3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития .....	16
2.4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития .....	22
2.5. Анализ влияния наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий .....	23
2.6. Вычисление величин пожарного риска на объекте .....	24
<b>3. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ</b> .....	36
3.1. Пример расчета для производственного здания .....	36
3.2. Пример расчета для наружной установки .....	53
3.3. Пример расчета индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта .....	111
3.4. Пример расчета социального пожарного риска в жилой зоне вблизи объекта .....	114
3.5. Пример расчета для производственного объекта трубопроводного транспорта .....	116
3.6. Пример расчета для случая применения установки локального пожаротушения .....	137
3.7. Пример расчета для производственного объекта инфраструктуры железнодорожного транспорта (сливо-наливной эстакады) .....	165
3.8. Пример расчета для транспортировки опасных грузов автомобильным транспортом .....	204

3.9. Пример расчета для транспортировки опасных грузов железнодорожным транспортом .....	212
3.10 Пример расчета для производственного здания в случае применения индивидуальных средств защиты органов дыхания .....	220
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b> .....	228
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b> .....	264
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3.</b> Примеры логических деревьев событий и сведения, необходимые для их построения .....	274
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4.</b> Методы оценки опасных факторов пожара .....	285
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 5.</b> Методы определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетного времени эвакуации .....	320
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 6.</b> Детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей .....	332
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 7.</b> Метод определения вероятностей эффективного срабатывания технических средств противопожарной защиты при определении потенциального риска в зданиях объекта .....	338
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	341

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов (далее – Пособие) предназначено для практического использования при проведении расчетов по оценке пожарного риска для производственных объектов (далее – объектов) в соответствии с Методикой [1].

Методика [1] принята в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации [2]. Указанное постановление устанавливает порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска в случаях, установленных Федеральным законом [3].

Положения настоящего Пособия неприменимы для производственных объектов специального назначения, в том числе объектов военного назначения, объектов производства, переработки, хранения радиоактивных и взрывчатых веществ и материалов, объектов уничтожения и хранения химического оружия и средств взрывания, наземных космических объектов и стартовых комплексов, горных выработок и объектов, расположенных в лесах.

Положения Методики [1] и настоящего Пособия не могут быть применены для объектов защиты, запроектированных и построенных до вступления в силу Федерального закона [3].

Расчеты пожарного риска при определении категорий наружных установок по пожарной опасности проводятся по методам, изложенным в своде правил [4], устанавливающим порядок определения классификационных признаков категорий наружных установок производственного и складского назначения по пожарной опасности.

Расчеты пожарного риска только для зданий, сооружений и пожарных отсеков класса функциональной пожарной опасности Ф3.1, Ф3.2, Ф3.6, Ф4.3, Ф4.4, расположенных на территории производственного объекта, проводятся в соответствии с Методикой [15].

Расчеты пожарного риска для всего производственного объекта или части производственного объекта, включающих здания, сооружения и пожарные отсеки класса функциональной пожарной опасности Ф3.1, Ф3.2, Ф3.6, Ф4.3, Ф4.4 следует проводить в соответствии с Методикой [1].

Для производственных объектов, на которых были проведены капитальный ремонт, реконструкция или техническое перевооружение, расчеты пожарного риска следует проводить в части, соответствующей объему работ по капитальному ремонту, реконструкции или техническому перевооружению, с учетом воздействия опасных факторов пожаров, которые могут реализоваться на других частях объекта, в случае нарушения противопожарных расстояний до указанных частей, регламентированных нормативными документами по пожарной безопасности.

1.2. Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта и ее последствий для людей.

Количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта является риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара, в том числе:

- риск гибели работника объекта;
- риск гибели людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта.

Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте характеризуется числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков.

1.3. Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом [3].

Статьей 93 Федерального закона [3] установлены следующие нормативные значения пожарного риска для производственных объектов.

- Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год (т. е.  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>).

- Для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год (т. е.  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>). При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

- Величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год (т. е.  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup>).

- Величина социального пожарного риска воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать одну десятимиллионную в год (т. е.  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>).

- Для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной стомиллионной в год (т. е.  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup>) и (или) величины социального пожарного риска одной десятимиллионной (т. е.  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>) в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной миллионной в год (т. е.  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>) и (или) социального пожарного риска до од-

ной сотысячной в год (т. е.  $10^{-5}$  год<sup>-1</sup>) соответственно. При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите.

1.4. Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территории объекта для лиц не из числа его персонала не должна превышать одну миллионную в год (т. е.  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>).

1.5. К производственным объектам, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год (т. е.  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>) невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, и для которых допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год (т. е.  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>), рекомендуется относить:

- опасные производственные объекты в соответствии с п. 1. Приложения к Федеральному закону [5]);
- производственные объекты, включающие здания (помещения) категорий А и/или Б, наружные установки категорий АН и/или БН;
- производственные объекты, на которых обращаются горючие вещества и материалы, нагретые выше температуры самовоспламенения.

1.6. Результаты оценки пожарного риска используются:

- для обоснования обеспечения допустимых значений пожарного риска, установленных федеральным законодательством, в следующих случаях:

- объекты, для которых федеральными законами о технических регламентах и/или нормативными документами по пожарной безопасности не установлены требования пожарной безопасности;

- объекты, для которых не в полном объеме выполнены требования нормативных документов по пожарной безопасности. Для указанных объектов расчеты по оценке пожарного риска рекомендуется проводить для обоснования только тех отступлений от требований нормативных документов по пожарной безопасности, которые могут быть учтены при проведении указанных расчетов в соответствии с Методикой [1];

- для принятия решений по разработке дополнительных мер по снижению пожарной опасности объекта в случае превышения одними или несколькими расчетными значениями пожарных рисков нормативных значений, установленных федеральным законодательством;

- при разработке проектной документации на объекты капитального строительства и проведении государственной экспертизы проектной документации. Необходимость включения в проектную документацию расчетов по оценке пожарного риска регламентируется Постановлением Правительства Российской Федерации [6].

1.7. Согласно Методике [1] (далее – Методика) определение расчетных величин пожарного риска на объекте осуществляется на основании:

- а) анализа пожарной опасности объекта;
- б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- в) построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- г) оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- д) наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

Ниже на основе положений Методики [1] описывается процедура и основные этапы проведения расчетов по оценке пожарного риска.

## **2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

### **2.1. Анализ пожарной опасности объекта**

2.1.1. В соответствии с Методикой [1] анализ пожарной опасности объекта предусматривает:

а) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте;

б) определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;

в) определение для каждого технологического процесса перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную;

г) построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей.

2.1.2. Согласно Методике [1] анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов предусматривает сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, с параметрами технологического процесса.

При анализе пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте используются следующие сведения:

- данные о наличии и виде горючих веществ и материалов, их количестве, физико-химических свойствах и показателях пожарной опасности;

- технологические параметры оборудования (давление, температура, уровни заполнения, материальные потоки) и подводящих/отводящих трубопроводов (диаметры, толщины стенок, расстояние до отсекающей арматуры);

- параметры исполнительных механизмов систем противоаварийной защиты (время закрытия и открытия запорной арматуры, надежность срабатывания, производительность насосов или других устройств аварийного опорожнения);

- геометрические характеристики взаимного расположения оборудования и его элементов, привязка единицы оборудования на местности.

В соответствии с Методикой [1] перечень потенциальных источников зажигания пожароопасной технологической среды определяется посредством сопоставления параметров технологического процесса и иных источников зажигания с показателями пожарной опасности веществ и материалов.

Некоторые свойства и показатели пожарной опасности наиболее распространенных веществ и материалов приведены в Прил. 1 к настоящему Пособию (данные представлены на основе [7–11]).

2.1.3. Согласно Методике [1] определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса осуществляется на основе анализа пожарной опасности каждого из технологических процессов, предусматривающего выбор ситуаций, при реализации которых возникает опасность для людей, находящихся в зоне поражения опасными факторами пожара, взрыва и сопутствующими проявлениями опасных факторов пожара.

Не подлежат рассмотрению ситуации, в результате которых не возникает опасность для жизни и здоровья людей. Эти ситуации не учитываются при расчете пожарного риска.

2.1.4. В соответствии с Методикой [1] для каждой пожароопасной ситуации на объекте приводится описание причин возникновения и развития пожароопасных ситуаций, мест их возникновения и факторов пожара, представляющих опасность для жизни и здоровья людей в местах их пребывания.

Для определения причин возникновения пожароопасных ситуаций рассматриваются события, реализация которых может привести к образованию горючей среды и появлению источника зажигания.

Наиболее вероятными событиями, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций на объектах, считаются следующие:

- выход параметров технологических процессов за критические значения, который вызван нарушением технологического регламента (например, перелив жидкости при сливно-наливных операциях, разрушение оборудования вследствие превышения давления по технологическим причинам, появление источников зажигания в местах образования горючих газопаровоздушных смесей);

- разгерметизация технологического оборудования, вызванная механическим (влияние повышенного или пониженного давления, динамических нагрузок и т. п.), температурным (влияние повышенных или пониженных температур) и агрессивным химическим (влияние кислородной, сероводородной, электрохимической и биохимической коррозии) воздействиями;

- механическое повреждение оборудования в результате ошибок работника, падения предметов, некачественного проведения ремонтных и регламентных работ и т. п. (например, разгерметизация оборудования или выход из строя элементов его защиты в результате повреждения при ремонте или столкновении с железнодорожным или автомобильным транспортом).

2.1.5. Выявление аварийных ситуаций осуществляется на основании изучения:

- структуры объекта, пространственного размещения его элементов;

- основных операций, осуществляемых на объекте, технологических схем, используемого оборудования;

- перечня веществ и материалов, применяемых на объекте;

- перечня основных опасностей, характерных для рассматриваемого объекта;

- перечня событий, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций;

- отказов оборудования, имевших место на практике ранее;

- данных по надежности используемого оборудования;

- возможных ошибочных действий персонала;

- местных метеорологических и географических характеристик.

В соответствии с Методикой [1] для выявления пожароопасных ситуаций осуществляется деление технологического оборудования (технологических систем), при их наличии на объекте, на участки. Указанное деление выполняется исходя из возможности раздельной герметизации этих участков при возникновении аварии. Рассматриваются пожароопасные ситуации как на основном, так и на вспомогательном технологическом оборудовании. Кроме этого, учитывается также возможность возникновения пожара в зданиях и сооружениях (далее – здания) различного назначения, расположенных на территории объекта.

В перечне пожароопасных ситуаций применительно к каждому участку, технологической установке, зданию объекта выделяются группы пожароопасных ситуаций, которым соответствуют одинаковые модели процессов возникновения и развития.

При анализе пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, рассматриваются утечки при различных диаметрах истечения (в том числе максимальные – при полном разрушении оборудования или подводящих/отводящих трубопроводов).

Следует отметить, что полностью проанализировать все многообразие пожароопасных аварийных ситуаций на достаточно крупном объекте в ряде случаев не представляется возможным. В то же время проведение расчетов по оценке пожарного риска предполагает рассмотрение как можно более широкого перечня пожароопасных аварийных ситуаций, учитывающее в основном события, которые имели место на практике эксплуатации рассматриваемых объектов. Поэтому при проведении расчетов пожарного риска должен быть разработан перечень пожароопасных аварийных ситуаций, который, с одной стороны, охватывает все технологические блоки, участки, технологические установки, здания и соору-

жения объекта, с другой стороны, по этому перечню должны быть проведены необходимые расчеты при учете вариации различных параметров при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Основными методами достижения этой цели являются объединение пожароопасных аварийных ситуаций в группы типовых пожароопасных аварийных ситуаций и исключение ситуаций с незначительным риском.

При объединении в группы типовых пожароопасных аварийных ситуаций применительно к каждому блоку, участку, технологической установке, зданию и сооружению объекта должны быть выделены типовые пожароопасные аварийные ситуации, которым соответствуют одинаковые модели возникновения и развития. При этом выбранные для расчетов типовые ситуации должны отражать специфику пожарной опасности всех участков объекта.

Исключение ситуаций с незначительным риском направлено на то, чтобы не рассматривать те ситуации, вклад которых в расчетные величины пожарного риска незначителен и не повлияет на конечный результат. Однако подобные исключения должны быть точно определены и обоснованы, так как возможны ситуации, когда для каждой из большого количества аварий существует незначительный риск, но при их объединении суммарный риск может стать существенным. Кроме того, учитывая различные нормативные значения пожарного риска для работников объекта и населения, вблизи него исключение ситуаций не должно приводить к занижению расчетных величин риска для населения в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта. Также не следует без предварительного анализа исключать из рассмотрения ситуации только на основании того, что такие ситуации никогда не имели место на практике при эксплуатации схожих объектов.

## 2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

2.2.1. В соответствии с Методикой [1] для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте используется информация:

- а) об отказах оборудования, используемого на объекте;
- б) о параметрах надежности используемого на объекте оборудования;
- в) об ошибочных действиях работника объекта;
- г) о гидрометеорологической обстановке в районе размещения объекта;
- д) о географических особенностях местности в районе размещения объекта.

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций могут использоваться статистические данные по аварийности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта.

Информация о частотах реализации пожароопасных ситуаций (в том числе возникших в результате ошибок работника), необходимая для оценки риска, может быть получена непосредственно из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов.

2.2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций является одним из наиболее важных этапов проведения расчетов по оценке пожарного риска, который в значительной мере определяет достоверность полученных результатов расчета значений риска.

Рекомендуемые сведения по частотам реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов, частотам утечек из технологических трубопроводов, а также частотам возникновения пожаров в зданиях приведены в Прил. 2 к настоящему Пособию (по данным [1, 12, 13]).

При использовании данных, приведенных в Прил. 2 для какого-либо резервуара, емкости, сосуда, аппарата, технологического трубопровода, следует учитывать частоты разгерметизации для всех размеров утечек, указанные для этой единицы технологического оборудования.

Также частоты реализации пожароопасных ситуаций и возникновения пожаров могут быть получены с использованием анализа деревьев неисправностей в соответствии со стандартом [14].

Дерево неисправностей – это организованное графическое представление условий или других факторов, вызывающих нежелательное событие, называемое вершиной событий. Представление приводят в форме, которая может быть понята, проанализирована и, по мере необходимости, перестроена таким образом, чтобы облегчить идентификацию следующих особенностей:

- факторов, воздействующих на надежность и характеристики эффективности системы, например, режимов неисправностей компонентов, ошибок оператора, условий окружающей среды, ошибок программного обеспечения;
- противоречивых требований или спецификаций, которые могут влиять на надежность и эффективность системы;
- общих событий, воздействующих более чем на один функциональный компонент, который может уменьшить преимущества резервирования.

Анализ дерева неисправностей является в основном дедуктивным (нисходящим) методом анализа, нацеленного на точное определение причины или комбинации причин, приводящих к вершине событий.

### **2.3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития**

2.3.1. В соответствии с Методикой [1] при построении полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития учитываются следующие факторы:

- тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов горючих веществ на поверхность и огненных шарах;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;
- избыточное давление и импульс волны давления при разрыве сосуда (резервуара) в результате воздействия на него очага пожара;
- избыточное давление при сгорании газопаровоздушной смеси в помещении;
- концентрация токсичных компонентов продуктов горения в помещении;
- снижение концентрации кислорода в воздухе помещения;
- задымление атмосферы помещения;
- среднеобъемная температура в помещении;
- расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

Оценка величин указанных факторов проводится на основе анализа физических явлений, протекающих при пожароопасных ситуациях, пожарах, взрывах. При этом рассматриваются следующие процессы, возникающие при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров или являющиеся их последствиями (в зависимости от типа оборудования и обращающихся на объекте горючих веществ):

- истечение жидкости из отверстия;
- истечение газа из отверстия;
- двухфазное истечение из отверстия;
- растекание жидкости при разрушении оборудования;
- выброс газа при разрушении оборудования;
- формирование зон загазованности;
- сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;
- разрушение сосуда с перегретой легковоспламеняющейся жидкостью, горючей жидкостью или сжиженным горючим газом;
- тепловое излучение от пожара пролива или огненного шара;

- реализация пожара-вспышки;
- испарение жидкости из пролива;
- образование газопаровоздушного облака (газы и пары тяжелее воздуха);
- сгорание газопаровоздушной смеси в технологическом оборудовании или помещении;
- пожар в помещении;
- факельное горение струи жидкости и/или газа;
- тепловое излучение горящего оборудования;
- вскипание и выброс горячей жидкости при пожаре в резервуаре.

Также, при необходимости, рассматриваются иные процессы, которые могут иметь место при возникновении пожароопасных ситуаций и пожаров.

2.3.2. В соответствии с Методикой [1] для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров рекомендуется использовать метод логических деревьев событий (далее – логическое дерево).

Указанный метод представляет собой совокупность количественных или качественных приемов, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события, а также их вероятностей и частот.

Применение метода логических деревьев позволяет определить развитие возможных пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих вследствие реализации инициирующих пожароопасную ситуацию событий. Анализ дерева событий представляет собой «осмысливаемый вперед» процесс, то есть процесс, при котором исследование развития пожароопасной ситуации начинается с исходного события с рассмотрением цепи последующих событий, приводящих к возникновению пожара.

При построении дерева событий предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность (ветвление «Да»/«Нет»). Следует отметить, что вероятности на дереве событий явля-

ются условными вероятностями. Метод логических деревьев представляет собой индуктивный тип анализа, в котором основным задаваемым вопросом является: «что случится, если?». Он обеспечивает взаимосвязь между функционированием (или отказом) разнообразных защитных систем и опасным событием, следующим после того, как происходит единичное инициирующее событие.

Сценарий возникновения и развития пожароопасной ситуации (пожара) на логическом дереве отражается в виде последовательности событий от исходного до конечного события (далее – ветвь дерева событий).

При построении логических деревьев событий учитываются следующие положения:

- выбирается пожароопасная ситуация, которая может повлечь за собой возникновение аварии с пожаром с дальнейшим его развитием;

- развитие пожароопасной ситуации и пожара должно рассматриваться постадийно с учетом места ее возникновения на объекте оценки риска, уровня потенциальной опасности каждой стадии и возможности ее локализации и ликвидации. На логическом дереве событий стадии развития пожароопасной ситуации и пожара могут отображаться в виде прямоугольников или других геометрических фигур с краткими названиями этих стадий;

- переход с рассматриваемой стадии на новую определяется возможностью либо локализации пожароопасной ситуации или пожара на рассматриваемой стадии, либо развития пожара, связанного с вовлечением расположенных рядом зданий, помещений, а также технологического оборудования в результате влияния на них опасных факторов пожара, возникших на рассматриваемой стадии. Условные вероятности переходов пожароопасной ситуации или пожара со стадии на стадию одной ветви или с ветви на ветвь определяются исходя из свойств вовлеченных в пожароопасную ситуацию или пожар горючих веществ (физико-химические и пожаро-

опасные свойства, параметры, при которых вещества обращаются в технологическом процессе и т. д.), условной вероятности реализации различных метеорологических условий (температура окружающей среды, скорость и направление ветра и т. д.), наличия и условной вероятности эффективного срабатывания систем противоаварийной и противопожарной защиты, величин зон поражения опасными факторами пожара, объемно-планировочных решений и конструктивных особенностей оборудования и зданий производственного объекта. При этом каждой стадии иногда присваивается идентификационный номер, отражающий последовательность переходов со стадии на стадию;

- переход со стадии на стадию, как правило, отображается в виде соединяющих линий со стрелками, указывающими направления развития пожароопасной ситуации и последующего пожара. При этом соединения стадий должны отражать вероятностный характер события с выполнением условия «или» или «да», «нет»;

- для каждой стадии рекомендуется устанавливать уровень ее опасности, характеризующийся возможностью перехода пожароопасной ситуации или пожара на соседние с пожароопасным участки объекта;

- при повторении одним из путей части другого пути развития для упрощения построения логического дерева событий иногда вводят обозначение, представляющее собой соответствующую линию со стрелкой и надпись «на стадию (код последующей стадии)».

При построении логического дерева событий используются:

- условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева событий и перехода пожароопасной ситуации или пожара на ту или иную стадию развития;

- вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара;

- вероятность поражения расположенного в зоне пожара технологического оборудования и зданий объекта в результате воздействия на них опасных факторов пожара, взрыва.

При анализе логических деревьев событий руководствуются следующими положениями:

- возможностью предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара, которая зависит от количества стадий и времени их протекания (т. е. от длины пути развития пожароопасной ситуации и пожара). Это обуславливается большей вероятностью успешной ликвидации пожароопасной ситуации и пожара, связанной с увеличением времени на локализацию пожароопасной ситуации и пожара и количеством стадий, на которых эта локализация возможна;

- наличием у стадии разветвлений по принципу «или», одно из которых переходит на стадию локализации пожароопасной ситуации или пожара (например, тушение очага пожара, своевременное обнаружение утечки и ликвидация пролива, перекрытие запорной арматуры и т. п.), свидетельствует о возможности предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара по этому пути.

Значение частоты реализации отдельной стадии дерева событий или сценария определяется путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития по конкретному сценарию.

При определении условных вероятностей реализации различных сценариев должны приниматься во внимание свойства поступающих в окружающее пространство горючих веществ, условные вероятности реализации различных метеорологических условий (температура окружающей среды, скорость и направление ветра и т. д.), наличие и условные вероятности эффективного срабатывания систем противопоаварийной и противопожарной защиты и т. д.

Рекомендуемые сведения по условной вероятности мгновенного воспламенения и воспламенения с задержкой, вероятности эффективного срабатывания некоторых систем

противопожарной защиты, а также примеры логических деревьев событий приведены в Прил. 3 к настоящему Пособию.

2.3.3. Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, представленных в Прил. 4 и 5 к настоящему Пособию, являющихся развитием положений, изложенных в Методике [1]. Указанные методы основаны на положениях Методики [1] с учетом расширения и конкретизации положений указанной Методики.

В указанных Приложениях приведены следующие методы:

- расчета теплового излучения пожара пролива и огненного шара;
- расчета параметров волны сжатия при различных режимах сгорания газопаровоздушных смесей на открытом пространстве, разрушении сосуда с перегретой легковоспламеняющейся жидкостью или сжиженным горючим газом в очаге пожара;
- оценки зон поражения при пожаре-вспышке и факельном горении;
- определения времени блокирования эвакуационных путей в результате распространения опасных факторов пожара (для зальных помещений).

Кроме того, в указанных Приложениях приведены вспомогательные методы расчета:

- массового расхода горючей среды при аварии (жидкость, газ, двухфазная среда);
- интенсивности испарения жидкости из пролива;
- максимальных размеров взрывоопасных зон.

Примеры расчетов с использованием этих методов приведены в разд. 3 настоящего Пособия.

#### **2.4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития**

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев их разви-

тия осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики опасных факторов пожара на территории объекта и прилегающей к нему территории и информации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара.

Для оценки пожарного риска используют, как правило, вероятностные критерии поражения людей опасными факторами пожара. Детерминированные критерии используются при невозможности применения вероятностных критериев.

Детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения, основанные на положениях Методики [1], приведены в Прил. 6 к настоящему Пособию.

Примеры расчетов с использованием этих критериев приведены в разд. 3 настоящего Пособия.

## **2.5. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий**

При анализе влияния систем обеспечения пожарной безопасности зданий на расчетные величины пожарного риска предусматривается рассмотрение комплекса мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта.

При этом рассматриваются следующие мероприятия по обеспечению пожарной безопасности:

- мероприятия, направленные на предотвращение пожара;
- мероприятия по противопожарной защите;
- организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности учитываются при определении частот реализации пожароопасных ситуаций, возможных сценариев возникновения и развития пожаров и последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Сведения о вероятности эффективного срабатывания некоторых систем противопожарной защиты приведены в Прил. 3 к настоящему Пособию.

## 2.6. Вычисление величин пожарного риска на объекте

2.6.1. В соответствии с Методикой [1] расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков в зданиях и на территории объекта, а также в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска.

Примеры расчетов величин пожарного риска для производственного здания, наружной установки, производственного объекта, производственных объектов транспортной инфраструктуры, а также производственных зданий с учетом применения установок локального пожаротушения и средств защиты органов дыхания приведены в разд. 3 настоящего Пособия.

2.6.2. Величина потенциального пожарного риска  $P(a)$  (год<sup>-1</sup>) (далее – потенциальный риск) в определенной точке ( $a$ ) на территории объекта и в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта определяется по формуле

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

где  $J$  – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);  $Q_{dj}(a)$  – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории ( $a$ ) в результате реализации  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному иницирующему аварии событию;  $Q_j$  – частота реализации в течение года  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год<sup>-1</sup>.

Условные вероятности поражения человека  $Q_{dj}(a)$  определяются по критериям поражения людей опасными факторами пожара, взрыва.

При расчете риска рассматриваются различные метеорологические условия с типичными направлениями ветров и ожидаемой частотой их возникновения.

Величина потенциального риска определяется посредством наложения зон поражения опасными факторами с учетом частоты реализации каждого сценария развития аварии на карту местности с привязкой их к соответствующему инициирующему аварии событию (элементу оборудования, технологической установке) и зонам поражения.

2.6.3. При проведении расчета риска предусматривается рассмотрение различных пожароопасных ситуаций, определение зон поражения опасными факторами пожара, взрыва и частот реализации указанных пожароопасных ситуаций. Для удобства расчетов территория местности может разделяться на зоны, внутри которых величины  $P(a)$  полагаются одинаковыми.

Результаты расчетов потенциального риска, как правило, отображаются на карте (ситуационном плане) предприятия и прилегающих районов в виде замкнутых линий равных значений (изолинии функции  $P(a)$ ). Изолинии функции  $P(a)$  называются контурами риска. Их физический смысл состоит в том, что они разделяют территорию предприятия (так же, как и местность вокруг предприятия) на области, в которых ожидаемая частота возникновения опасных факторов аварий, приводящих к гибели людей, заключена в определенных, указанных на карте (ситуационном плане) предприятия и в пределах прилегающих районов.

Контуры риска не зависят от количества работающих на предприятии или их должностных обязанностей, а определяются исключительно используемой технологией и надежностью применяемого оборудования.

2.6.4. В необходимых случаях оценка условной вероятности поражения человека проводится с учетом совместного

воздействия более чем одного опасного фактора. Так, например, для расчета условной вероятности поражения человека при реализации сценария, связанного со взрывом резервуара с легковоспламеняющейся жидкостью (далее – ЛВЖ) под давлением, находящегося в очаге пожара, необходимо учитывать, кроме теплового излучения огненного шара, и воздействие волны давления.

Условная вероятность поражения человека  $Q_{dj}(a)$  от совместного независимого воздействия нескольких опасных факторов в результате реализации  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций определяется по формуле

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h (1 - Q_k Q_{djk}(a)), \quad (2)$$

где  $h$  – число рассматриваемых опасных факторов;  $Q_k$  – вероятность реализации  $k$ -го опасного фактора;  $Q_{djk}(a)$  – условная вероятность поражения  $k$ -ом опасным фактором.

#### *Потенциальный риск в зданиях объекта*

2.6.5. Величина потенциального риска  $P_i$  (год<sup>-1</sup>) в  $i$ -ом помещении здания или пожарного отсека здания (далее – здания) объекта определяется по формуле

$$P_i = \sum_{j=1}^J Q_j Q_{dij}, \quad (3)$$

где  $J$  – число сценариев возникновения пожара в здании;  $Q_j$  – частота реализации в течение года  $j$ -го сценария пожара, год<sup>-1</sup>;  $Q_{dij}$  – условная вероятность поражения человека при его нахождении в  $i$ -ом помещении и реализации  $j$ -го сценария пожара.

2.6.6. Условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  определяется по формуле

$$Q_{dij} = (1 - P_{\text{э}ij}) (1 - D_{ij}), \quad (4)$$

где  $P_{\text{э}ij}$  – вероятность эвакуации людей, находящихся в  $i$ -ом помещении здания, при реализации  $j$ -го сценария пожара;  $D_{ij}$  – вероятность эффективной работы технических средств

по обеспечению безопасности людей в  $i$ -ом помещении при реализации  $j$ -го сценария пожара.

2.6.7. Вероятность эвакуации  $P_{эij}$  определяется по формуле

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) (1 - P_{д.вij}), \quad (5)$$

где  $P_{э.пij}$  – вероятность эвакуации людей, находящихся в  $i$ -ом помещении здания, по эвакуационным путям при реализации  $j$ -го сценария пожара;  $P_{д.вij}$  – вероятность выхода из здания людей, находящихся в  $i$ -ом помещении, через аварийные или иные выходы.

При отсутствии данных вероятность  $P_{д.вij}$  допускается принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии.

2.6.8. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям  $P_{э.пij}$  определяется по формуле

$$P_{э.пij} = \begin{cases} \frac{0,8\tau_{бlij} - t_{rij}}{\tau_{н.э}}, & \text{если } t_{rij} < 0,8\tau_{бlij} < t_{rij} + \tau_{н.эij} \\ 0,999, & \text{если } t_{rij} + \tau_{н.эij} \leq 0,8\tau_{бlij} \\ 0,001, & \text{если } t_{rij} \geq 0,8\tau_{бlij} \end{cases}, \quad (6)$$

где  $\tau_{бlij}$  – время от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей), мин;  $t_{rij}$  – расчетное время эвакуации людей из  $i$ -го помещения при  $j$ -ом сценарии пожара, мин;  $\tau_{н.эij}$  – интервал времени от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до начала эвакуации людей из  $i$ -го помещения, мин.

2.6.9. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.э}$  для зданий без систем оповещения определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в зданиях (далее – СОУЭ)  $\tau_{н.э}$  принимается равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях без СОУЭ  $\tau_{н.э}$  допускается принимать равным 0,5 мин для этажа пожара и 2 мин для вышележащих этажей.

2.6.10. Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то  $\tau_{н.э}$  допускается принимать равным нулю.

В этом случае вероятность  $P_{э.п.ij}$  определяется по формуле

$$P_{э.п.ij} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_{pij} < 0,8\tau_{б.ij} \\ 0,001, & \text{если } t_{pij} \geq 0,8\tau_{б.ij} \end{cases} \quad (7)$$

2.6.11. Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетное время эвакуации определяются по методам, приведенным в Прил. 5 к настоящему пособию.

Расчетное время эвакуации  $t_{pij}$  вычисляется при максимально возможной расчетной численности людей в здании, определяемой на основе решений по организации эксплуатации здания, от наиболее удаленной от эвакуационных выходов точки  $i$ -го помещения. Допускается определение расчетного времени эвакуации на основе экспериментальных данных.

Для определения указанных выше величин  $\tau_{б.ij}$  и  $t_{pij}$  допускается дополнительно использовать методы, содержащиеся в Методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных в установленном порядке.

2.6.12. При определении величин потенциального риска для работников, которые находятся в здании на территории объекта, допускается рассматривать для здания в качестве

расчетного один наиболее неблагоприятный сценарий возникновения пожара, характеризующийся максимальной условной вероятностью поражения человека. В этом случае расчетная частота возникновения пожара принимается равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании сценариев возникновения пожара.

2.6.13. Вероятность  $D_{ij}$  эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности  $i$ -го помещения при реализации  $j$ -го сценария пожара определяется по формуле

$$D_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - D_{ijk}), \quad (8)$$

где  $K$  – число технических средств противопожарной защиты;  $D_{ijk}$  – вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи)  $k$ -го технического средства при  $j$ -ом сценарии пожара для  $i$ -го помещения здания.

Вероятности эффективного срабатывания технических средств противопожарной защиты допускается определять в соответствии с методом, представленным в Прил. 7 к настоящему Пособию.

При отсутствии данных по эффективности технических средств величины  $D_{ij}$  допускается принимать равными 0.

2.6.14. При определении значений  $D_{ij}$  следует учитывать только технические средства, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) в  $i$ -ом помещении здания людей при реализации  $j$ -го сценария пожара. При этом учитываются следующие мероприятия:

- применение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара в безопасную зону (при организации эвакуации в безопасную зону);
- наличие систем противодымной защиты рассматриваемого помещения и путей эвакуации;
- использование автоматических установок пожарной сигнализации (далее – АУПС) в сочетании с СОУЭ;

- наличие установок пожаротушения в помещении очага пожара.

При определении условной вероятности поражения людей, находящихся в помещении очага пожара, не допускается учитывать наличие в этом помещении АУПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми), а также установок пожаротушения, срабатывание которых допускается только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (например, при наличии установок порошкового, газового и аэрозольного пожаротушения, а также комбинированных установок, использующих указанные огнетушащие вещества).

*Индивидуальный пожарный риск в зданиях  
и на территории объекта*

2.6.15. Индивидуальный пожарный риск (далее – индивидуальный риск) для работников объекта оценивается частотой поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

Области, на которые разбита территория объекта, нумеруются

$$i = 1, \dots, I.$$

Работники объекта нумеруются

$$m = 1, \dots, M.$$

Лица, не являющиеся работниками объекта, нумеруются

$$l = 1, \dots, L.$$

Номер работника  $m$  однозначно определяет наименование должности работника, его категорию и другие особенности его профессиональной деятельности, необходимые для оценки пожарной безопасности. Допускается проводить расчет индивидуального риска для работника объекта, относя его к одной категории наиболее опасной профессии.

Номер лица  $l$ , не являющегося работником объекта, однозначно определяет возможность его нахождения в зданиях и сооружениях, а также на территории объекта.

2.6.16. Величина индивидуального риска  $R_m$  (год<sup>-1</sup>) для работника  $m$  объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} P(i), \quad (9)$$

где  $P(i)$  – величина потенциального риска в  $i$ -ой области территории объекта, год<sup>-1</sup>;  $q_{im}$  – вероятность присутствия работника  $m$  в  $i$ -ой области территории объекта.

2.6.17. Величина индивидуального риска  $R_m$  (год<sup>-1</sup>) для работника  $m$  при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле

$$R_m = \sum_{i=1}^N P_i q_{im}, \quad (10)$$

где  $P_i$  – величина потенциального риска в  $i$ -ом помещении здания, год<sup>-1</sup>;  $q_{im}$  – вероятность присутствия работника  $m$  в  $i$ -ом помещении;  $N$  – число помещений в здании и сооружении.

2.6.18. Индивидуальный риск работника  $m$  объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника на территории и в зданиях объекта, определенных по формулам (9) и (10).

2.6.19. Вероятность  $q_{im}$  определяется исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории и/или в  $i$ -ом помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта.

2.6.20. Величина индивидуального риска  $Y_l$  (год<sup>-1</sup>) для лица  $l$ , не являющегося работником объекта, при его нахождении на территории объекта определяется по формуле

$$Y_l = \sum_{i=1}^I q_{il} P(i), \quad (11)$$

где  $P(i)$  – величина потенциального риска в  $i$ -ой области территории объекта, год<sup>-1</sup>;  $q_{il}$  – вероятность присутствия лица  $l$ , не являющегося работником объекта, в  $i$ -ой области территории объекта.

2.6.21. Величина индивидуального риска  $Y_l$  (год<sup>-1</sup>) для лица  $l$ , не являющегося работником объекта, при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле

$$Y_l = \sum_{i=1}^N P_i q_{il}, \quad (12)$$

где  $P_i$  – величина потенциального риска в  $i$ -ом помещении здания, год<sup>-1</sup>;  $q_{il}$  – вероятность присутствия лица  $l$ , не являющегося работником объекта, в  $i$ -ом помещении;  $N$  – число помещений в здании и сооружении.

2.6.22. Индивидуальный риск лица  $l$ , не являющегося работником объекта, определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении лица на территории и в зданиях объекта, определенных по формулам (11) и (12).

2.6.23. Вероятность  $q_{il}$  определяется исходя из доли времени нахождения рассматриваемого лица  $l$ , не являющегося работником объекта, в определенной области территории и/или в  $i$ -ом помещении здания в течение года на основе организационно-распорядительных документов объекта.

*Индивидуальный и социальный пожарный риск  
в жилой зоне, общественно-деловой зоне или  
зоне рекреационного назначения вблизи объекта*

2.6.24. Для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, индивидуальный риск принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия людей в зданиях и сооружениях вблизи производственного объекта:

- для зданий и сооружений классов Ф1 по функциональной пожарной опасности – 1;

- для зданий и сооружений классов Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5 по функциональной пожарной опасности с круглосуточным режимом работы – 1, при некруглосуточном режиме работы – доля времени присутствия людей в соответствии с организационно-распорядительными документами для этих зданий и сооружений.

2.6.25. Для объекта социальный пожарный риск (далее – социальный риск) принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, социальный риск  $S$  (год<sup>-1</sup>) определяется по формуле

$$S = \sum_{j=1}^L Q_j, \quad (13)$$

где  $L$  – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров), для которых выполняется условие  $N_i \geq 10$ ;  $N_i$  – среднее число погибших в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта людей в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва при реализации  $j$ -го сценария.

2.6.26. Величина  $N_i$  определяется по формуле

$$N_i = \sum_{j=1}^I Q_{dij} n_i, \quad (14)$$

где  $I$  – количество областей, на которые разделена территория, прилегающая к объекту ( $i$  – номер области);  $Q_{dij}$  – условная вероятность поражения человека, находящегося в  $i$ -ой области, опасными факторами при реализации  $j$ -го сценария;  $n_i$  – среднее число людей, находящихся в  $i$ -ой области.

*Индивидуальный и социальный пожарный риск  
для линейной части магистральных трубопроводов*

2.6.27. Величина потенциального риска  $P(r)$  (год<sup>-1</sup>) в определенной точке на расстоянии  $r$  от оси магистрального трубопровода определяется по формуле:

$$P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{x_{1jk}}^{x_{2jk}} Q_{\text{пор}jk}(x, r) dx, \quad (15)$$

где  $\lambda_j(m)$  – удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для  $j$ -го типа разгерметизации на участке  $m$  магистрального трубопровода,  $\text{год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $K_0$  – число сценариев развития пожароопасной ситуации или пожара (при этом подлежат рассмотрению для каждого типа разгерметизации следующие сценарии: факельное горение, пожар пролива (для истечения жидкой фазы), пожар-вспышка, сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве);  $J_0$  – число рассматриваемых типов разгерметизации;  $Q_{jk}$  – условная вероятность реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) для  $j$ -го типа разгерметизации;  $Q_{\text{пор}jk}(x, r)$  – условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии  $r$  от оси магистрального трубопровода в результате реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), произошедшей на участке магистрального трубопровода с координатой  $x$ , расположенной в пределах участка влияния  $k$ -го сценария развития пожара для  $j$ -го типа разгерметизации;  $x_{1jk}, x_{2jk}$  – координаты начала и окончания участка влияния (границы участка влияния определяются для  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) из условия, что зона поражения опасными факторами пожара (взрыва) при аварии на магистральном трубопроводе за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии  $r$  от оси магистрального трубопровода, допускается интегрирование проводить по всей длине трубопровода).

Рекомендуемый метод определения удельных частот различных типов разгерметизации магистрального трубопровода приведен в Прил. 2 к настоящему Пособию.

Число рассматриваемых сценариев развития пожароопасной ситуации (пожара) при разгерметизации линейной части магистрального трубопровода, условные вероятности  $Q_{jk}$  и

$Q_{\text{поржк}}(x, r)$  определяются в зависимости от специфики пожарной опасности магистрального трубопровода и транспортируемого вещества.

2.6.28. Индивидуальный риск для работников, обслуживающих линейную часть магистрального трубопровода, определяется в соответствии с пп. 2.6.15 и 2.6.18 настоящего Пособия.

Для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи линейной части магистрального трубопровода, индивидуальный риск определяется в соответствии с п. 2.6.24 настоящего Пособия.

2.6.29. Для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи линейной части магистрального трубопровода, социальный риск  $S$  (год<sup>-1</sup>) определяется по формуле:

$$S = \max \{S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_Q\}, \quad (16)$$

где  $S_1, S_2, S_p, S_Q$  – величины социального риска для различных потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода, (год<sup>-1</sup>), определяемые в соответствии с пп. 2.6.25 и 2.6.26 настоящего Пособия;  $Q$  – количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода.

Количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяется на основе анализа плана трассы магистрального трубопровода и прилегающей к ней территории. Границы потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяются из условия расположения вблизи них населенных пунктов, зданий, сооружений и строений, не относящихся к магистральному трубопроводу, расположенных на расстоянии менее значений, регламентированных нормативными документами по пожарной безопасности.

### 3. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

#### 3.1. Пример расчета для производственного здания

Рассматривается одноэтажная контроллерная управления технологическими процессами на производстве.

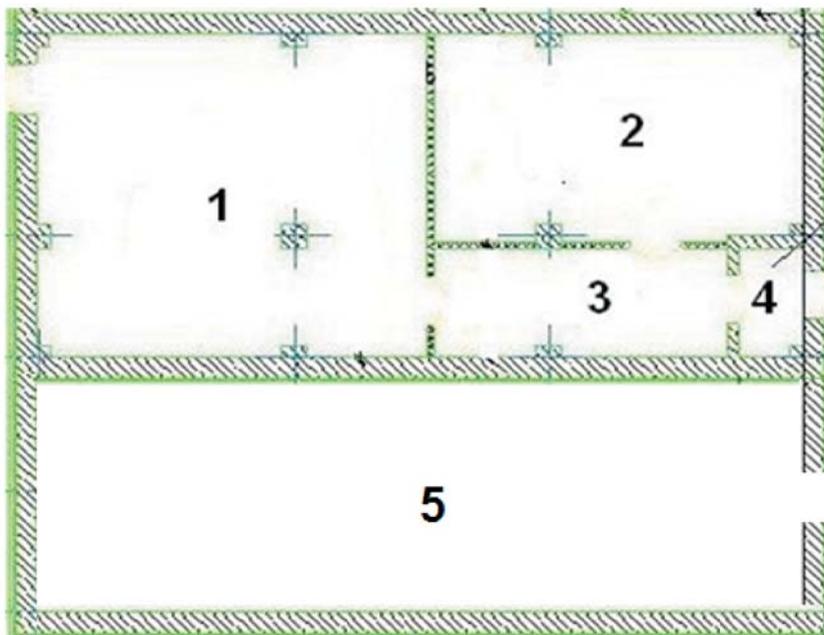
В рассматриваемом здании расположены:

- помещение контроллерной площадью  $S = 72 \text{ м}^2$ ;
- помещение электрооборудования площадью  $S = 44 \text{ м}^2$ ;
- помещение трансформаторной  $S = 104 \text{ м}^2$ ;
- коридор  $S = 20 \text{ м}^2$ ;
- тамбур  $S = 4,5 \text{ м}^2$ .

План рассматриваемого здания представлен на рис. 3.1.1. Высота помещений составляет  $h = 5 \text{ м}$ . Ширина дверных проемов в рассматриваемом здании составляет  $a = 1 \text{ м}$ , высота дверных проемов составляет  $b = 2 \text{ м}$ .

Требуется определить расчетные величины потенциального пожарного риска в помещениях рассматриваемого здания и индивидуального пожарного риска для персонала, обслуживающего здание. Для расчета значений потенциального риска рассматриваются сценарии проектных пожаров, по которым пожар может возникнуть в каждом из помещений здания.

Расчет распространения опасных факторов пожара для сценариев проектного пожара № 1 и № 2 проводится с помощью зонной модели пожара в здании в соответствии с [15], для сценария № 3 проектного пожара проводится с помощью интегральной модели пожара в здании в соответствии с [1].



**Рис. 3.1.1. План рассматриваемого здания:**

**1 – помещение контроллерной; 2 – помещение электрооборудования;  
3 – коридор; 4 – тамбур; 5 – помещение трансформаторной**

3.1.1. Результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании.

*Сценарий № 1.* Очаг пожара возникает в помещении контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электротехнические материалы, карболит, текстолит), очаг пожара распространяется по горизонтальной плоскости равномерно распределенного материала в виде круга. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются эвакуационные выходы из помещения.

Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении определяется с определенным запасом надежности согласно табл. П2.4 настоящего Пособия как для электростанций  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2}$ , что в расчете на всю площадь помещения дает:  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2} \cdot 72 \text{ м}^2 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

Параметры для расчета по зонной модели принимаем следующими [10]:

- низшая теплота сгорания 20,9 МДж/кг;
- линейная скорость пламени 0,0125 м/с;
- удельная скорость выгорания 0,0076 кг/(м<sup>2</sup> · с);
- дымообразующая способность 327 Нп · м<sup>2</sup>/кг;
- потребление кислорода O<sub>2</sub> 1,95 кг/кг;
- коэффициент полноты сгорания 0,95.

Выделение газа:

- углекислого газа CO<sub>2</sub> 0,375 кг/кг;
- угарного газа CO 0,0556 кг/кг;
- хлористого водорода HCl 0,0054 кг/кг.

В табл. 3.1.1 приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении контроллерной.

*Таблица 3.1.1*

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	104
по пониженному содержанию кислорода	104
по X <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Не достигается в течение 1800 с
по X <sub>CO</sub>	189
по X <sub>HCl</sub>	301

Расчетное время эвакуации из помещения контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1) составляет  $t_{pij} = 0,1 \text{ мин} = 6 \text{ с}$ . Время от

начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij}$  принимаем как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{pij} + \tau_{н.эij} = 6 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{блij} = 0,8 \cdot 104 = 83,2 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.виj}$  через аварийные выходы, равной  $P_{д.виj} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$  согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) (1 - P_{д.виj}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{дij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{дij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j \cdot Q_{дij} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

В табл. 3.1.2 приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования.

Таблица 3.1.2

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	319
по пониженному содержанию кислорода	Не достигается в течение 1800 с

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO}$	986
по $X_{HCl}$	1281

Расчетное время эвакуации из помещения электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2) составляет  $t_{rij} = 0,05$  мин = 3 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij}$  принимаем равным 0,5 мин = 30 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{rij} + \tau_{н.эij} = 3 + 30 = 33 \text{ с} \leq 0,8 \cdot \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 319 = 255 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.вij}$  через аварийные выходы, равной  $P_{д.вij} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij})(1 - P_{д.вij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij})(1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j \cdot Q_{dij} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

В табл. 3.1.3 приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в коридоре.

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в коридоре (рис. 3.1.1, поз. 3)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	164
по пониженному содержанию кислорода	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO}$	393
по $X_{HCl}$	548

Расчетное время эвакуации из коридора (рис. 3.1.1, поз. 3) с учетом времени начала эвакуации  $\tau_{н.э.ij}$  и расчетного времени эвакуации из помещения электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)  $t_{р.ij}$  составляет  $t_{р.ij} = 0,08$  мин = 5 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.п.ij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{р.ij} + \tau_{н.э.ij} = 35 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{бл.ij} = 0,8 \cdot 164 = 131 \text{ с}.$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.в.ij}$  через аварийные выходы, равной  $P_{д.в.ij} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{э.ij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{э.ij} = 1 - (1 - P_{э.п.ij})(1 - P_{д.в.ij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{д.ij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j \cdot Q_{dij} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

В табл. 3.1.4 представлены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в тамбуре.

Таблица 3.1.4

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в тамбуре (рис. 3.1.1, поз. 4)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	193
по пониженному содержанию кислорода	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO}$	512
по $X_{HCl}$	678

Расчетное время эвакуации из тамбура (рис. 3.1.1, поз. 4) с учетом времени начала эвакуации  $\tau_{н.эij}$  и расчетного времени эвакуации из помещения электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)  $t_{rij}$  составляет  $t_{rij} = 0,1 \text{ мин} = 6 \text{ с}$ . Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{rij} + \tau_{н.эij} = 36 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 193 = 154 \text{ с}.$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.вij}$  через аварийные выходы, равной  $P_{д.вij} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) (1 - P_{д.вij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j \cdot Q_{dij} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

*Сценарий № 2.* Очаг пожара возникает в помещении электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электротехнические материалы, карболит, текстолит), очаг пожара распространяется по горизонтальной плоскости равномерно распределенного материала в виде круга. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются опасными факторами пожара эвакуационные выходы из помещения.

Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении определяется с определенным запасом надежности согласно табл. П2.4 настоящего Пособия как для электростанций  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2}$ , что в расчете на всю площадь помещения дает:

$$Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2} \cdot 44 \text{ м}^2 = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Параметры для расчета по зонной модели принимаем следующими [10]:

- |                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| - низшая теплота сгорания   | 20,9 МДж/кг; |
| - линейная скорость пламени | 0,0125 м/с;  |

- удельная скорость выгорания 0,00760 кг/(м<sup>2</sup> · с);
- дымообразующая способность 327 Нп · м<sup>2</sup>/кг;
- потребление кислорода O<sub>2</sub> 1,95 кг/кг;
- коэффициент полноты сгорания 0,95.

Выделение газа:

- углекислого газа CO<sub>2</sub> 0,375 кг/кг;
- угарного газа CO 0,0556 кг/кг;
- хлористого водорода HCl 0,0054 кг/кг.

В табл. 3.1.5 представлены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении контроллерной.

Таблица 3.1.5

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	347
по пониженному содержанию кислорода	Не достигается в течение 1800 с
по X <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Не достигается в течение 1800 с
по X <sub>CO</sub>	964
по X <sub>HCl</sub>	1313

Расчетное время эвакуации из помещения контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1) составляет  $t_{rij} = 0,1$  мин = 6 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij}$  принимаем равным 0,5 мин = 30 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.nij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{rij} + \tau_{н.эij} = 6 + 30 = 36 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{олij} = 0,8 \cdot 347 = 278 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.вij}$  через аварийные выходы, равной  $P_{д.вij} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эва-

куации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э,пij}) (1 - P_{д,вij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j Q_{dij} = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 9,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

В табл. 3.1.6 представлены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования.

Таблица 3.1.6

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	1008
по потере видимости	72
по пониженному содержанию кислорода	72
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO}$	133
по $X_{HCl}$	206

Расчетное время эвакуации из помещения электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2) составляет  $t_{pij} = 0,05 \text{ мин} = 3 \text{ с}$ . Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н,эij}$  принимаем как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность

эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.п.ij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{р.ij} + \tau_{н.э.ij} = 3 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{бл.ij} = 0,8 \cdot 72 = 58 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.в.ij}$  через аварийные выходы  $P_{д.в.ij} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{э.ij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{э.ij} = 1 - (1 - P_{э.п.ij}) (1 - P_{д.в.ij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{э.ij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j Q_{dij} = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 9,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

В табл. 3.1.7 представлены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в коридоре.

*Таблица 3.1.7*

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в коридоре (рис. 3.1.1, поз. 3)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	114
по пониженному содержанию кислорода	272
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO}$	254

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с: по $X_{НС1}$	333

Расчетное время эвакуации из коридора (рис. 3.1.1, поз. 3) с учетом расчетного времени эвакуации из помещения электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)  $t_{pij}$  составляет  $t_{pij} = 0,08$  мин = 5 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.п.ij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{pij} = 5 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{б.л.ij} = 0,8 \cdot 114 = 91 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.в.ij}$  через аварийные выходы, равной  $P_{д.в.ij} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{э.ij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{э.ij} = 1 - (1 - P_{э.п.ij}) (1 - P_{д.в.ij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{э.ij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j Q_{dij} = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 9,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

В табл. 3.1.8 представлены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в тамбуре.

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в тамбуре (рис. 3.1.1, поз. 4)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	137
по пониженному содержанию кислорода	544
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 1800 с
по $X_{CO}$	327
по $X_{HCl}$	407

Расчетное время эвакуации из тамбура (рис. 3.1.1, поз. 4) с учетом расчетного времени эвакуации из помещения электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)  $t_{rij}$  составляет  $t_{rij} = 0,1$  мин = 6 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э,rij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{rij} = 6 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{блиj} = 0,8 \cdot 137 = 110 \text{ с}.$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д,вij}$  через аварийные выходы, равной  $P_{д,вij} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$  согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э,rij}) (1 - P_{д,вij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j Q_{dij} = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 9,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

*Сценарий № 3.* Очаг пожара возникает в помещении трансформаторной (поз. 5). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (трансформаторное масло). Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются опасными факторами пожара эвакуационные выходы из помещения.

Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении определяется с определенным запасом надежности согласно табл. П2.4 настоящего Пособия как для электростанций  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2}$ , что в расчете на всю площадь помещения дает:

$$Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2} \cdot 104 \text{ м}^2 = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

Принимаем, что площадь пролива трансформаторного масла ограничена площадью поддона, в котором находится трансформатор. Площадь поддона составляет  $S = 2 \text{ м}^2$ .

В соответствии с Прил. 5 к настоящему Пособию горение трансформаторного масла до момента завершения эвакуации людей из здания осуществляется с неустановившееся скоростью, так как температура кипения трансформаторного масла составляет  $t_{\text{кип}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$  [7].

Параметры для расчета по интегральной модели принимаем следующими [10]:

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| - низшая теплота сгорания              | 42,7 МДж/кг;                   |
| - удельная скорость выгорания          | 0,043 кг/(м <sup>2</sup> · с); |
| - дымообразующая способность           | 480 Нп · м <sup>2</sup> /кг;   |
| - потребление кислорода O <sub>2</sub> | 1,59 кг/кг;                    |

- коэффициент полноты сгорания 0,95;
- показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени 1,5.

Выделение газа:

- углекислого газа  $\text{CO}_2$  1,07 кг/кг;
- угарного газа  $\text{CO}$  0,122 кг/кг.

В табл. 3.1.9 представлены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении трансформаторной.

Таблица 3.1.9

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении трансформаторной (рис. 3.1.1, поз. 5)**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	96
по потере видимости	48
по пониженному содержанию кислорода	114
по $X_{\text{CO}_2}$	Не достигается
по $X_{\text{CO}}$	Не достигается

Расчетное время эвакуации из помещения трансформаторной (рис. 3.1.1, поз. 5) составляет  $t_{\text{pij}} = 0,18 \text{ мин} = 11 \text{ с}$ . Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{\text{н.эij}}$  принимаем как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{\text{э.пij}} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{\text{pij}} + \tau_{\text{н.эij}} = 11 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{\text{бlij}} = 0,8 \cdot 48 = 38 \text{ с}.$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{\text{д.виj}}$  через аварийные выходы, равной  $P_{\text{д.виj}} = 0,03$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{\text{эij}}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{\text{эij}} = 1 - (1 - P_{\text{э.пij}}) (1 - P_{\text{д.виj}}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j Q_{dij} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

В табл. 3.1.10 представлены результаты определения потенциального пожарного риска для здания контроллерной.

*Таблица 3.1.10*

**Результаты определения потенциального пожарного риска для здания контроллерной**

№ сценария	Наименование помещения, позиция	Потенциальный пожарный риск по сценарию, год <sup>-1</sup>	Итоговый потенциальный пожарный риск, год <sup>-1</sup>
1	Помещение контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$
2		$9,7 \cdot 10^{-7}$	
1	Помещение электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$
2		$9,7 \cdot 10^{-7}$	
3	Помещение трансформаторной (рис. 3.1.1, поз. 5)	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$

3.1.2. Результаты определения индивидуального пожарного риска для рассматриваемого здания.

Принимаем, что у каждого представителя той или иной профессии 200 рабочих дней в году. Принимаем, что в рассматриваемом здании работают представители следующих профессий (с указанием доли времени, которое они проводят в течение года в данном здании):

- оператор – 8 ч в течение рабочего дня = 1600 ч/год = 0,18.

- электрик – 0,5 ч в течение рабочего дня = 100 ч/год = 0,011.

В табл. 3.1.11 приведены результаты определения индивидуального пожарного риска для работников в здании контроллерной.

Таблица 3.1.11

**Индивидуальный пожарный риск для работников в здании контроллерной**

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Итоговый индивидуальный риск, год <sup>-1</sup>
Оператор	Помещение контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1)	0,160	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
	Помещение электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)	0,020	$0,05 \cdot 10^{-6}$	
Электрик	Помещение трансформаторной (рис. 3.1.1, поз. 5)	0,011	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$

3.1.3. Вывод об условиях соответствия рассматриваемого здания требованиям пожарной безопасности.

Индивидуальный пожарный риск не превышает нормативное значение, так как выполняется условие  $R_m^{\max} = 4,5 \cdot 10^{-7} \leq R_m^{\text{н}} = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Нормативное значение индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта составляет  $R_m^{\text{н}} = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ , так как указанный объект не относится к объектам, перечисленным в разд. 1.5 настоящего Пособия, для которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов.

### 3.2. Пример расчета для наружной установки

На настоящем примере показан расчет обусловленных возможными пожарами на наружной установке производственного объекта величин индивидуального и социального риска, выполненный по Методике [1].

#### 3.2.1. Описание наружной установки.

В качестве наружной установки в настоящем примере рассматривается резервуарный парк бензина, условно размещаемый на территории производственного объекта в Московском регионе.

В состав резервуарного парка бензина входят два резервуара (резервуары № 1 и № 2) объемом по 10 000 м<sup>3</sup> каждый (диаметр резервуара – 34,2 м, высота – 11,92 м) и два трубопровода бензина (вход и выход продукта из каждого резервуара осуществляется по одному патрубку) диаметром 900 мм, суммарная длина трубопроводов парка  $L_{\text{труб}}$  составляет 200 м. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические с купольной крышей без понтона. Парк имеет ограждающую стену, рассчитанную на гидростатическое давление разлившейся жидкости. Площадь внутри обвалования (ограждения) парка составляет 7000 м<sup>2</sup>. Резервуарный парк предназначен для хранения бензина (бензин марки АИ-93).

Защита резервуаров от нагрева, деформации и разрушения во время пожара осуществляется при помощи стационарных установок водяного орошения, в качестве которых в парке предусматриваются кольца орошения.

#### 3.2.2. Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации.

##### *Физико-химические свойства обращающихся в парке горючих веществ и материалов*

Свойства бензина принимались согласно данным, приведенным в Прил. 1 настоящего Пособия. При этом с определенным запасом надежности свойства принимались по бензину АИ-93 (зимний): суммарная формула –  $C_{6,911}H_{12,168}$ ; молярная масса – 95,3 кг/кмоль; температура вспышки – ми-

нус 37 °С; константы уравнения Антуана в диапазоне температур –60÷90 °С: А = 4,26511, В = 695,019, СА = 223,220; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 1,1 % (об.).

*Статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций*

Данные по частотам реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий для резервуаров (резервуары для хранения ЛВЖ при давлении близком к атмосферному со стационарной крышей) и трубопроводов рассматриваемого парка принимались в соответствии с Прил. 2 настоящего Пособия.

Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 25 мм:

$$Q_{\text{разгерм.рез.25 мм}} = 8,8 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 100 мм:

$$Q_{\text{разгерм.рез.100 мм}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота полного разрушения резервуара:

$$Q_{\text{полн.разруш.рез.}} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота возникновения пожара на дыхательной арматуре резервуара:

$$Q_{\text{пож.дых.аромат.рез.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота возникновения пожара по всей поверхности резервуара:

$$Q_{\text{пож.поверх.рез.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 12,5 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} = 3,1 \cdot 10^{-7} (\text{год} \cdot \text{м})^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 25 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} = 1,3 \cdot 10^{-7} (\text{год} \cdot \text{м})^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 50 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} = 5,2 \cdot 10^{-8} \text{ (год} \cdot \text{м)}^{-1}.$$

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 100 мм:

$$Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ (год} \cdot \text{м)}^{-1}.$$

Частота разрыва трубопровода по полному сечению:

$$Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} = 4,2 \cdot 10^{-9} \text{ (год} \cdot \text{м)}^{-1}.$$

Условные вероятности мгновенного воспламенения и условные вероятности последующего воспламенения при отсутствии мгновенного, а также условные вероятности сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении в зависимости от типа утечки принимались по табл. ПЗ.1 Прил. 3 настоящего Пособия. При этом для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, указанные условные вероятности с определенным запасом надежности принимались равными максимальным соответствующим условным вероятностям, приведенным в табл. ПЗ.1 настоящего Пособия. Также следует отметить, что в соответствии с положениями Прил. 3 настоящего Пособия для бензина (ЛВЖ с температурой вспышки менее +28 °С) указанные выше условные вероятности принимались как для двухфазной среды.

Условная вероятность мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, принималась равной:

$$P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} = 0,150.$$

Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения

резервуаров и полного разрыва трубопроводов, принималась равной:

$$P_{\text{посл.воспл.утеч.}} = 0,176.$$

Условная вероятность мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов принималась равной:

$$P_{\text{мгн.воспл.разр.}} = 0,200.$$

Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения для случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов принималась равной:

$$P_{\text{посл.воспл.разр.}} = 0,240.$$

Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании паровоздушного облака и его последующем воспламенении для всех типов утечек из резервуаров и трубопроводов принималась равной:

$$P_{\text{обр.изб.давл.}} = 0,600.$$

*Данные по вероятности успешного срабатывания различных систем противоаварийной и противопожарной защиты*

Защита резервуаров парка от нагрева, деформации и разрушения во время пожара осуществляется при помощи стационарных установок водяного орошения, в качестве которых предусматриваются кольца орошения. Согласно Прил. 3 условная вероятность эффективной работы систем водяного орошения резервуаров принимается равной  $P_{\text{ор}} = 0,95$ .

*Данные по метеорологическим условиям в районе местонахождения объекта*

В соответствии с П6 Прил. 4 к настоящему Пособию расчетная температура принималась равной максимально возможной температуре в климатической зоне размещения объекта (г. Москва)  $t_0 = +37 \text{ }^\circ\text{C}$  [16].

Максимальная повторяемость штиля на территории г. Москвы согласно [17] составляет  $P_{\text{штиля}} = 0,12$ .

Скорость ветра принималась равной максимальной из средних скоростей ветра по румбам за июль для климатической зоны размещения объекта (г. Москва), составляющим 3,9 м/с [17].

3.2.3. Анализ пожарной опасности рассматриваемого объекта.

Анализ имевших место инцидентов с пожарами и взрывами на складах нефти и нефтепродуктов, к которым относится и рассматриваемый в настоящем примере резервуарный парк, позволяет выделить закономерности возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров, согласно которым аварии с пожарами и взрывами на объектах такого рода являются, как правило, следствием ситуаций, развивающихся по следующей типовой схеме:

- в результате нарушения герметичности арматуры или оборудования происходит истечение горючих продуктов в окружающее пространство;

- вышедшие горючие продукты либо воспламеняются, либо создают обширную зону газопаровоздушной смеси с взрывоопасной концентрацией горючего;

- факторы возникшего пожара (взрыва) интенсивно воздействуют на аппарат или трубопровод, из которого происходит истечение, а также на соседнее оборудование, трубопроводы и т. п., вследствие чего в них повышается давление выше расчетного, они теряют прочность, разрушаются или происходит их разгерметизация вследствие разрушения от пламени уплотняющих устройств;

- количество выходящего продукта и масштабы пожара увеличиваются со временем, принося большой материальный ущерб и приводя к человеческим жертвам.

*Определение перечня пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития*

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров в рассматриваемом резервуарном парке был использован метод логи-

ческих деревьев событий. Построение логических деревьев событий, лежащих в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого резервуарного парка, осуществлялось исходя из следующих консервативных предпосылок.

1. В качестве иницирующих пожароопасные ситуации и пожары в резервуарном парке рассматриваются следующие события: разгерметизация резервуаров, разгерметизация трубопроводов бензина, возникновение пожаров на дыхательной арматуре резервуаров и возникновение пожаров по всей поверхности резервуаров.

2. Принимается, что пожар на дыхательной арматуре резервуара приводит к возникновению пожара резервуара по всей поверхности с условной вероятностью 100 %.

3. Принимается, что все случаи разгерметизации резервуара, характеризующиеся его полным разрушением, относятся к квазимгновенному разрушению резервуара (распад резервуара на приблизительно равные по размеру части в течение секунд или долей секунд). Для этих случаев принимается, что происходит перелив части хранимого в резервуаре продукта через обвалование (ограждение) парка.

4. Реализация иницирующих пожароопасные ситуации событий, связанных с разгерметизацией резервуаров и трубопроводов парка, приводит к образованию пролива в пределах обвалования (ограждения) парка, а в случае полного разрушения резервуара также и к проливу вне обвалования (ограждения).

5. При мгновенном воспламенении вышедшего горючего продукта возникает пожар пролива.

6. При отсутствии мгновенного воспламенения вышедшего горючего продукта происходит испарение бензина с поверхности пролива с возможностью образования взрывоопасного паровоздушного облака. Принимается, что испарение с поверхности пролива бензина приводит к образованию взрывоопасного паровоздушного облака только в случае безветрия (штиля).

7. Последующее воспламенение при условии отсутствия мгновенного воспламенения приводит к взрыву образовавшегося паровоздушного облака или его сгоранию в режиме пожара-вспышки. Последующее воспламенение при условии отсутствия мгновенного воспламенения при наличии ветра приводит к пожару пролива.

8. Воздействие пожара пролива бензина на резервуар парка при условии неэффективной работы (невыполнения задачи) системой водяного орошения резервуара приводит к возникновению пожара резервуара по всей поверхности.

9. Воздействие на резервуары парка пожара-вспышки и взрыва паровоздушного облака с возможностью дальнейшей эскалации пожара не рассматривается, поскольку зоны поражения от первичных пожаров (взрыв или пожар-вспышка) шире зон поражения от возможных вторичных пожаров.

10. Воздействие пожара одного из резервуаров парка при условии неэффективной работы (невыполнения задачи) системой водяного орошения соседнего резервуара приводит к возникновению пожара по всей поверхности соседнего резервуара.

На рис. 3.2.1–3.2.3 приведены деревья событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций и пожаров, на основе которых проводились расчеты по оценке пожарного риска для рассматриваемого резервуарного парка. На указанных деревьях событий возможность перехода ситуации от стадий к стадии показана с использованием вспомогательных величин – условных вероятностей  $P_1$ – $P_{10}$ , которые определяются следующими соотношениями.

$P_1$  – условная вероятность мгновенного воспламенения:

$$P_1 = \begin{cases} P_{\text{мгн.воспл. утеч.}} & \text{для утечек, кроме полного разрушения} \\ & \text{и полного разрыва;} \\ P_{\text{мгн.воспл. разр.}} & \text{для случаев полного разрушения} \\ & \text{или полного разрыва.} \end{cases}$$

$P_2$  – условная вероятность безветрия (штиля):

$$P_2 = P_{\text{штиля}}$$

$P_3$  – условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения:

$$P_3 = \begin{cases} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} & \text{для утечек, кроме полного разрушения} \\ & \text{и полного разрыва;} \\ P_{\text{посл.воспл.разр.}} & \text{для случаев полного разрушения} \\ & \text{или полного разрыва.} \end{cases}$$

$P_4$  – условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании паровоздушного облака и его последующем воспламенении:

$$P_4 = P_{\text{обр.изб.давл.}}$$

$P_5$  – условная вероятность эффективной работы систем водяного орошения одновременно на двух резервуарах (резервуары № 1 и № 2) парка при воздействии на них пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка:

$$P_5 = P_{\text{ор.}} \cdot P_{\text{ор.}}$$

$P_6$  – условная вероятность эффективной работы системы водяного орошения на резервуаре № 2 и одновременно неэффективная работа системы водяного орошения на резервуаре № 1 при воздействии на резервуары пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка:

$$P_6 = (1 - P_{\text{ор.}}) P_{\text{ор.}}$$

$P_7$  – условная вероятность эффективной работы системы водяного орошения на резервуаре № 1 и одновременно неэффективная работа системы водяного орошения на резервуаре № 2 при воздействии на резервуары пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка:

$$P_7 = P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}})$$

$P_8$  – условная вероятность неэффективной работы систем водяного орошения одновременно на резервуарах № 1 и № 2

при воздействии на резервуары пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка:

$$P_8 = (1 - P_{\text{op.}}) (1 - P_{\text{op.}}).$$

$P_9$  – условная вероятность эффективной работы системы водяного орошения одного резервуара при воздействии на него внешнего пожара:

$$P_9 = P_{\text{op.}}$$

$P_{10}$  – условная вероятность неэффективной работы системы водяного орошения одного резервуара при воздействии на него внешнего пожара:

$$P_{10} = 1 - P_{\text{op.}}$$

Перечень рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров, а также сценариев их развития приведен в табл. 3.2.1.

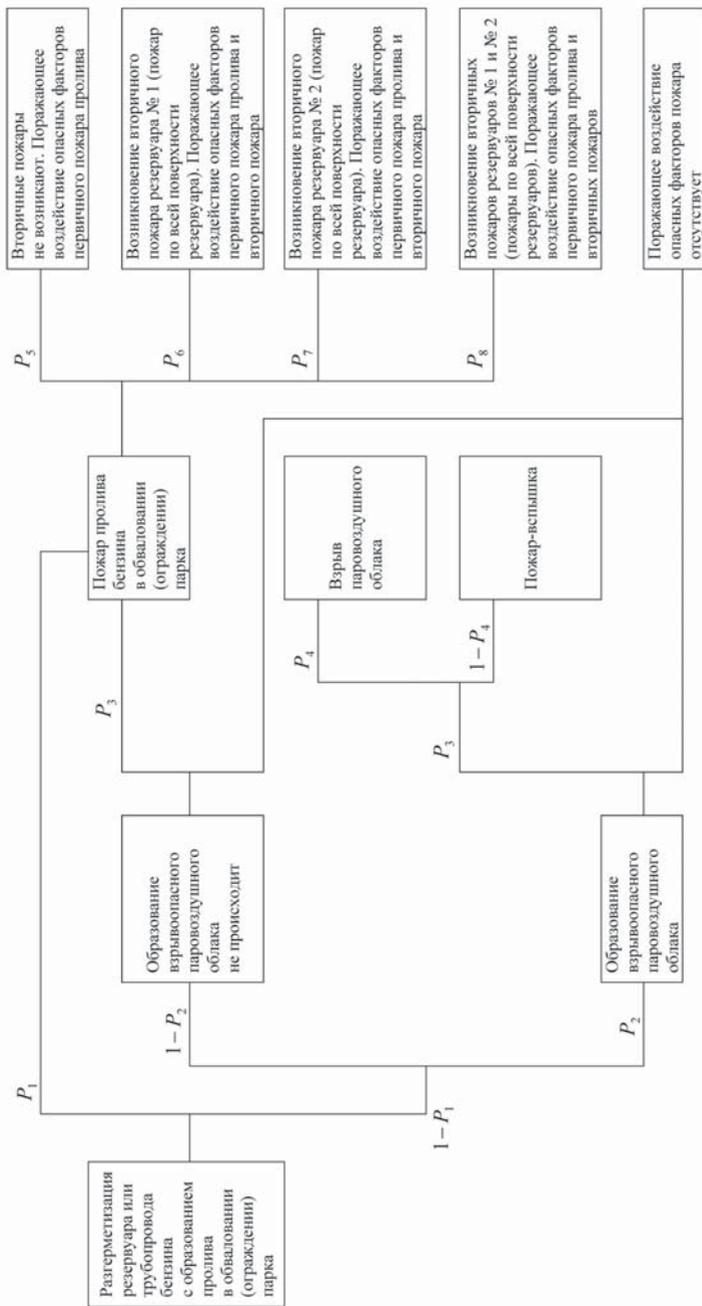
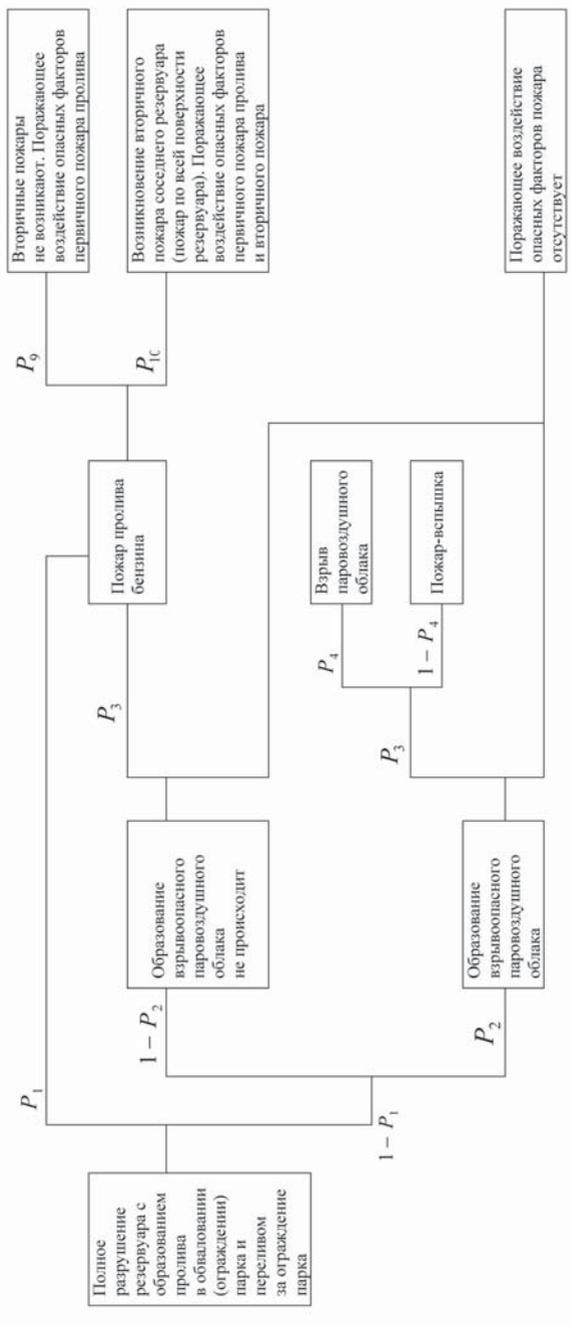
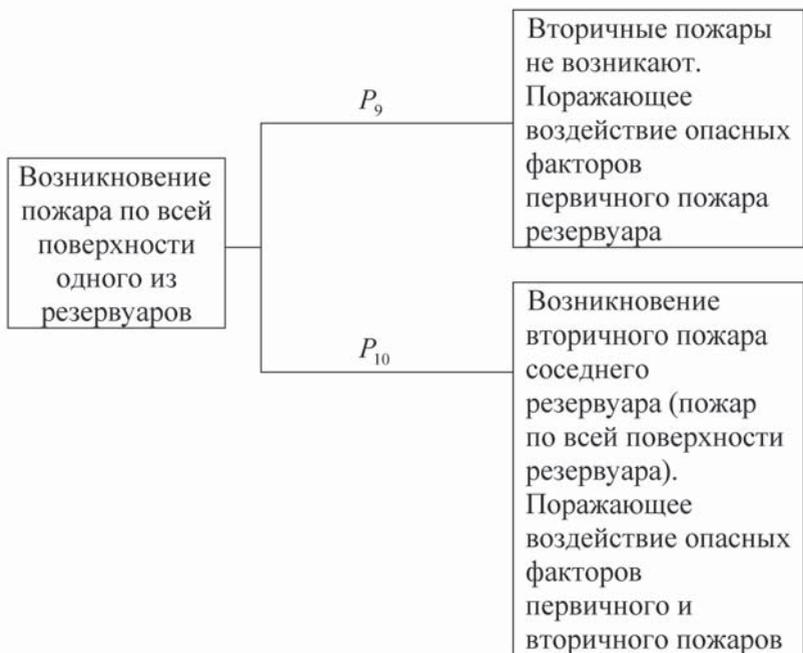


Рис. 3.2.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией резервуара или трубопровода рассматриваемого резервуарного парка



**Рис. 3.2.2. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с полным разрушением одного из резервуаров рассматриваемого резервуарного парка**



**Рис. 3.2.3. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с возникновением пожара по всей поверхности одного из резервуаров рассматриваемого резервуарного парка**

Таблица 3.2.1

## Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария	
Резервуар хранения бензина № 1	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	1	
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	2	
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	3	
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	4	
		Взрыв паровоздушного облака	5	
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	6	
		Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	7
			Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	8
			Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	9
			Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	10
Взрыв паровоздушного облака		11		
Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки		12		

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Пожар пролива бензина в обваловании (отражении) парка и пролива перелившегося через обвалование (отражение) бензина без возникновения вторичных пожаров	13
		Пожар пролива бензина в обваловании (отражении) парка и пролива перелившегося через обвалование (отражение) бензина с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	14
		Взрыв паровоздушного облака	15
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	16
	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности	Пожар резервуара № 1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	17
		Пожар резервуара № 1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	18
	Возникновение пожара на дыхательной арматуре	Пожар резервуара № 1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	19
		Пожар резервуара № 1 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	20
Резервуар хранения бензина № 2	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (отражении) парка без возникновения вторичных пожаров	21
		Пожар пролива бензина в обваловании (отражении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	22
		Пожар пролива бензина в обваловании (отражении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	23

Продолжение табл. 3.2.1

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	24
		Взрыв паровоздушного облака	25
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	26
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	27
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	28
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	29
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	30
		Взрыв паровоздушного облака	31
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	32
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина без возникновения вторичных пожаров	33
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	34

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
		Взрыв паровоздушного облака	35
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	36
	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности	Пожар резервуара № 2 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	37
	Возникновение пожара на дыхательной арматуре	Пожар резервуара № 2 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	38
		Пожар резервуара № 2 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	39
		Пожар резервуара № 2 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	40
Трубопроводы бензина	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 12,5 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	41
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	42
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	43
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	44
		Взрыв паровоздушного облака	45
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	46

Продолжение табл. 3.2.1

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	47
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	48
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	49
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	50
		Взрыв паровоздушного облака	51
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	52
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	53
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	54
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	55
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	56
		Взрыв паровоздушного облака	57
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	58

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	59
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	60
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	61
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	62
		Взрыв паровоздушного облака	63
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом)	Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	64
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	65
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	66
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	67
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	68
Взрыв паровоздушного облака	69		
Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	70		

### 3.2.4. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.

Частоты реализации сценариев развития рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) определялись в соответствии с деревьями событий (рис. 3.2.1–3.2.3).

Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих на резервуаре № 1 (1–20).

Частота реализации сценария № 1:

$$Q_1 = Q_{\text{разгерм.рез.25 мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{штиля}}) \times P_{\text{посл.воспл.утеч}}) P_{\text{ор.}} \cdot P_{\text{ор.}} = 8,8 \cdot 10^{-5} (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) \times 0,176) 0,95 \cdot 0,95 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 2:

$$Q_2 = Q_{\text{разгерм.рез.25 мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{штиля}}) \times P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 8,8 \cdot 10^{-5} (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) \times 0,176) (1 - 0,95) 0,95 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 3:

$$Q_3 = Q_{\text{разгерм.рез.25 мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{штиля}}) \times P_{\text{посл.воспл.утеч}}) P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 8,8 \cdot 10^{-5} (0,150 + (1 - 0,150) \times (1 - 0,12) 0,176) 0,95 (1 - 0,95) = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 4:

$$Q_4 = Q_{\text{разгерм.рез.25 мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{штиля}}) \times P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot (0,150 + (1 - 0,150) \times (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) (1 - 0,95) = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 5:

$$Q_5 = Q_{\text{разгерм.рез.25 мм}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч}} P_{\text{обр.изб.давл.}} = 8,8 \cdot 10^{-5} (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \cdot 0,600 = 9,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 6:

$$Q_6 = Q_{\text{разгерм.рез.25 мм}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч}} \times (1 - P_{\text{обр.изб.давл.}}) = 8,8 \cdot 10^{-5} (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \cdot (1 - 0,600) = 6,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 7:

$$Q_7 = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}})(1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} \cdot P_{\text{ор.}} = 1,2 \cdot 10^{-5} (0,150 + (1 - 0,150)(1 - 0,12) \times \\ \times 0,176) 0,95 \cdot 0,95 = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 8:

$$Q_8 = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}})(1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) P_{\text{ор.}} = 1,2 \cdot 10^{-5} (0,150 + (1 - 0,150) \times \\ \times (1 - 0,12) \cdot 0,176) (1 - 0,95) \cdot 0,95 = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 9:

$$Q_9 = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}})(1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 1,2 \cdot 10^{-5} (0,150 + (1 - 0,150) \times \\ \times (1 - 0,12) 0,176) \cdot 0,95 \cdot (1 - 0,95) = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 10:

$$Q_{10} = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}})(1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 1,2 \cdot 10^{-5} (0,150 + (1 - 0,150) \times \\ \times (1 - 0,12) \cdot 0,176) (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,95) = 8,4 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 11:

$$Q_{11} = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} P_{\text{обр.изб.дав.}} = \\ = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \cdot 0,600 = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 12:

$$Q_{12} = Q_{\text{разгерм.рез.100мм}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times \\ \times (1 - P_{\text{обр.изб.дав.}}) = 1,2 \cdot 10^{-5} (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 (1 - 0,600) = \\ = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 13:

$$Q_{13} = Q_{\text{полн.разруш.рез.}} (P_{\text{мгн.воспл.разр.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}})(1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.разр.}}) P_{\text{ор.}} = 5,0 \cdot 10^{-6} (0,200 + (1 - 0,200)(1 - 0,12) \times \\ \times 0,240) 0,95 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 14:

$$Q_{14} = Q_{\text{полн.разруш.рез.}} (P_{\text{мгн.воспл.разр.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}})(1 - P_{\text{штиля}}) \times \\ \times P_{\text{посл.воспл.разр.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 5,0 \cdot 10^{-6} \cdot (0,200 + (1 - 0,200)(1 - 0,12) \times \\ \times 0,240) (1 - 0,95) = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 15:

$$Q_{15} = Q_{\text{полн.разруш.рез.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.разр.}} \times P_{\text{обр.изб.давл.}} = 5,0 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,200) 0,12 \cdot 0,240 \cdot 0,600 = 6,9 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 16:

$$Q_{16} = Q_{\text{полн.разруш.рез.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.разр.}} \times (1 - P_{\text{обр.изб.давл.}}) = 5,0 \cdot 10^{-6} (1 - 0,200) 0,12 \cdot 0,240 \cdot (1 - 0,600) = 4,6 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 17:

$$Q_{17} = Q_{\text{пож.поверх.рез.}} P_{\text{ор.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,95 = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 18:

$$Q_{18} = Q_{\text{пож.поверх.рез.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 9,0 \cdot 10^{-5} (1 - 0,95) = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 19:

$$Q_{19} = Q_{\text{пож.дых.армат.рез.}} P_{\text{ор.}} = 9,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,95 = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 20:

$$Q_{20} = Q_{\text{пож.дых.армат.рез.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 9,0 \cdot 10^{-5} (1 - 0,95) = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих на резервуаре № 2 (21–40) аналогичны соответствующим частотам реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих на резервуаре № 1 (1–20).

Частота реализации сценария № 21:

$$Q_{21} = Q_1 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 22:

$$Q_{22} = Q_2 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 23:

$$Q_{23} = Q_3 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 24:

$$Q_{24} = Q_4 = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

- Частота реализации сценария № 25:  
 $Q_{25} = Q_5 = 9,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 26:  
 $Q_{26} = Q_6 = 6,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 27:  
 $Q_{27} = Q_7 = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 28:  
 $Q_{28} = Q_8 = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 29:  
 $Q_{29} = Q_9 = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 30:  
 $Q_{30} = Q_{10} = 8,4 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 31:  
 $Q_{31} = Q_{11} = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 32:  
 $Q_{32} = Q_{12} = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 33:  
 $Q_{33} = Q_{13} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 34:  
 $Q_{34} = Q_{14} = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 35:  
 $Q_{35} = Q_{15} = 6,9 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 36:  
 $Q_{36} = Q_{16} = 4,6 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 37:  
 $Q_{37} = Q_{17} = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .
- Частота реализации сценария № 38:  
 $Q_{38} = Q_{18} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .

Частота реализации сценария № 39:

$$Q_{39} = Q_{19} = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 40:

$$Q_{40} = Q_{20} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих в результате разгерметизации трубопроводов парка (41–70).

Частота реализации сценария № 41:

$$Q_{41} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} P_{\text{ор.}} = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 \cdot 0,95 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 42:

$$Q_{42} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) P_{\text{ор.}} = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) 0,95 = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 43:

$$Q_{43} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 (1 - 0,95) = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 44:

$$Q_{44} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \times (0,15 + (1 - 0,15) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) (1 - 0,95) = 4,4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 45:

$$Q_{45} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times P_{\text{обр. изб. давл.}} = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \cdot 0,600 = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 46:

$$Q_{46} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times (1 - P_{\text{обр. изб. давл.}}) = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \times (1 - 0,600) = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 47:

$$Q_{47} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} P_{\text{ор.}} = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 \cdot 0,95 = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 48:

$$Q_{48} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) P_{\text{ор.}} = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) 0,95 = 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 49:

$$Q_{49} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 (1 - 0,95) = 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 50:

$$Q_{50} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \times (0,15 + (1 - 0,15) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) (1 - 0,95) = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 51:

$$Q_{51} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times P_{\text{обр.изб.давл.}} = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \cdot 0,600 = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 52:

$$Q_{52} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times (1 - P_{\text{обр.изб.давл.}}) = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \times (1 - 0,600) = 1,9 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 53:

$$Q_{53} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} P_{\text{ор.}} = 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 \cdot 0,95 = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 54:

$$Q_{54} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) P_{\text{ор.}} = 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) 0,95 = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 55:

$$Q_{55} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 (1 - 0,95) = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 56:

$$Q_{56} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \times (0,15 + (1 - 0,15) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) (1 - 0,95) = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 57:

$$Q_{57} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times P_{\text{обр.изб.давл.}} = 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \cdot 0,600 = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 58:

$$Q_{58} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times (1 - P_{\text{обр.изб.давл.}}) = 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \times (1 - 0,600) = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 59:

$$Q_{59} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} P_{\text{ор.}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 \cdot 0,95 = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 60:

$$Q_{60} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) P_{\text{ор.}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) 0,95 = 5,9 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 61:

$$Q_{61} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot (0,150 + (1 - 0,150) (1 - 0,12) 0,176) 0,95 (1 - 0,95) = 5,9 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 62:

$$Q_{62} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \times (0,15 + (1 - 0,15) (1 - 0,12) 0,176) (1 - 0,95) (1 - 0,95) = 3,1 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 63:

$$Q_{63} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times P_{\text{обо.изб.давл.}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (1 - 0,15) 0,12 \cdot 0,176 \cdot 0,600 = 4,7 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 64:

$$Q_{64} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \times (1 - P_{\text{обр.изб.давл.}}) = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 (1 - 0,150) 0,12 \cdot 0,176 \times (1 - 0,600) = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 65:

$$Q_{65} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.разр.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр.}}) P_{\text{ор.}} P_{\text{ор.}} = 4,2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 (0,200 + (1 - 0,200) (1 - 0,12) 0,240) 0,95 \cdot 0,95 = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 66:

$$Q_{66} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.разр.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) P_{\text{ор.}} = 4,2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 (0,200 + (1 - 0,200) (1 - 0,12) 0,240) (1 - 0,95) 0,95 = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 67:

$$Q_{67} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.разр.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр.}}) P_{\text{ор.}} (1 - P_{\text{ор.}}) = 4,2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \cdot (0,200 + (1 - 0,200) (1 - 0,12) 0,240) 0,95 (1 - 0,95) = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 68:

$$Q_{68} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб.}} (P_{\text{мгн.воспл.разр.}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) \times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) (1 - P_{\text{ор.}}) = 4,2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \times (0,2 + (1 - 0,2) (1 - 0,12) 0,240) (1 - 0,95) (1 - 0,95) = 7,7 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 69:

$$Q_{69} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.разр.}} \times P_{\text{обо.изб.давл.}} = 4,2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 (1 - 0,200) 0,12 \cdot 0,240 \cdot 0,600 = 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 70:

$$Q_{70} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб.}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр.}}) P_{\text{штиля}} P_{\text{посл.воспл.разр.}} \times (1 - P_{\text{обр.изб.давл.}}) = 4,2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 (1 - 0,200) 0,12 \cdot 0,240 (1 - 0,600) = 7,7 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

3.2.5. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.

Оценка опасных факторов пожара производится с помощью методов, приведенных в Прил. 3 к настоящему пособию.

При этом согласно П16 Методики [1] для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров учитываются следующие опасные факторы пожара:

- тепловое излучение при пожарах проливов и пожарах резервуаров по всей поверхности;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании паровоздушного облака в открытом пространстве;
- расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

*Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций*

Количество поступившего в окружающее пространство горючего продукта (бензина) при реализации пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией резервуаров и трубопроводов рассматриваемого парка, определялось исходя из следующих предпосылок.

1. Принималось, что разгерметизация трубопроводов парка (для всех типов утечек) и разгерметизация каждого из двух резервуаров (для всех типов утечек, кроме полного разрушения) приводит к истечению всего содержимого в соответствующем резервуаре (питаемый разгерметизированным трубопроводом резервуар или разгерметизированный резервуар) бензина с образованием пролива, ограниченного обвалованием (ограждением) парка. При расчете количества испарившегося с поверхности пролива бензина для указанных пожароопасных ситуаций площадь поверхности испарения ( $F_{R1}$ ) консервативно оценивалась площадью внутри обвалования (ограждения) парка и принималась равной 7000 м<sup>2</sup>.

2. Площадь пролива бензина за пределами обвалования (ограждения) парка в случае полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка оценивалась в соответствии с П5 Прил. 4 к настоящему Пособию следующим образом.

Высота обвалования парка составляет:  $a = 3,5$  м.

Начальная высота столба жидкости в резервуаре ( $h_0$ ) определялась как отношение объема хранимого в резервуаре бензина ( $V_{рез.} = 10\,000$  м<sup>3</sup>) к площади днища резервуара (диаметр резервуара:  $D_{рез.} = 34,2$  м). Таким образом,

$$h_0 = \frac{V_{рез.}}{\pi \left( \frac{D_{рез.}}{2} \right)^2} = 10,9 \text{ м.}$$

Значение параметра  $a/h_0$  составляет 0,32.

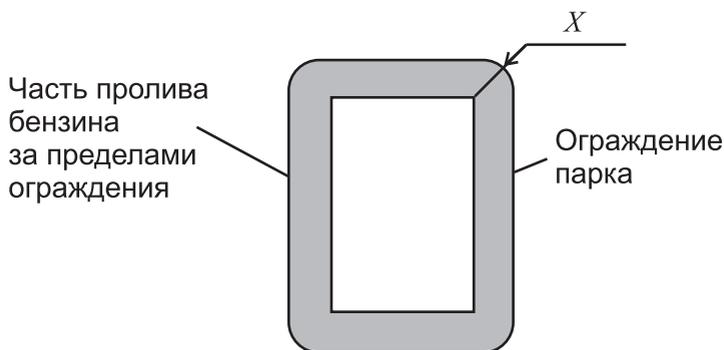
Доля перелившегося через обвалование (ограждение) бензина определялась по рис. П4.3 Прил. 4 (кривая – 1) и была принята равной 38 %. Таким образом, количество перелившегося через обвалование (ограждение) парка бензина составляет:  $V_{бен.перелив.} = 10\,000 \cdot 0,38 = 3800$  м<sup>3</sup>.

Площадь пролива указанного выше количества бензина за пределами обвалования (ограждения) парка ( $F_{ПРХ}$ ) рассчити-

тывалась по формуле (П4.27) Прил. 4. Коэффициент разлития ( $f_p$ ) принимался равным  $20 \text{ м}^{-1}$ .

$$F_{\text{ПРХ}} = f_p \cdot V_{\text{бен.перелив.}} = 20 \cdot 3800 = 76\,000 \text{ м}^2.$$

Обвалование (ограждение) парка имеет форму прямоугольника, периметр которого составляет  $L_{\text{перим}} = 350 \text{ м}$ . При определении формы пролива бензина за пределами обвалования (ограждения) парка принималось, что перелившееся через обвалование (ограждение) парка количество бензина распределено вдоль всего ограждения в полосе шириной  $X$ , м (рис. 3.2.4).



**Рис. 3.2.4. Схема к определению формы пролива бензина за пределами обвалования ограждения парка**

Ширина  $X$ , м, определяется уравнением:

$$X L_{\text{перим}} + \pi X^2 = F_{\text{ПРХ}}$$

Следовательно, ширина  $X$  составляет:

$$X = \frac{-L_{\text{перим.}} + \sqrt{L_{\text{перим.}}^2 + 4 \frac{F_{\text{ПРХ}}}{\pi}}}{2} = 109,5 \text{ м}.$$

3. При расчете количества испарившегося с поверхности пролива бензина для пожароопасных ситуаций, связанных с полным разрушением резервуара и переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, площадь по-

верхности испарения принималась равной:  $F_{R2} = F_{R1} + F_{ПРХ} = 7000 + 76\,000 = 83\,000 \text{ м}^2$ .

4. Продолжительность испарения с поверхности пролива бензина для всех пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией резервуаров или трубопроводов парка, консервативно принималась:  $T = 3600 \text{ с}$  (П6е) Прил. 4).

Ниже приведены результаты расчета массы паров бензина, поступивших в атмосферу в результате испарения с поверхности рассматриваемых проливов бензина.

Давление насыщенного пара бензина при расчетной температуре составляет:

$$P_{\text{Н}} = 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A}\right)} = 10^{\left(4,26511 - \frac{695,019}{37+223,220}\right)} = 39,3 \text{ кПа.}$$

Молярная масса бензина  $M = 95,3 \text{ кг/кмоль}$ .

Согласно П26 Прил. 4 интенсивность испарения бензина определяется по формуле:

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{MP_{\text{Н}}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95,3 \cdot 39,3} = 3,84 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}.$$

Таким образом, масса паров бензина, поступивших в атмосферу в результате испарения с поверхности рассматриваемых проливов бензина, составляет:

- для пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка):

$$M_1 = F_{R1} WT = 7000 \cdot 3,84 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 = 9677 \text{ кг};$$

- для случая пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка:

$$M_2 = F_{R2} WT = 83\,000 \cdot 3,84 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 = 114\,700 \text{ кг.}$$

#### *Расчет интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров*

Интенсивность теплового излучения пожаров для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с возникновением пожаров пролива бензина и пожаров резервуаров хранения бензина по

всей поверхности, рассчитывалась по методу, приведенному в Разд. VI Прил. 4 и позволяющему рассчитывать интенсивность теплового излучения ( $q$ ) пожара пролива заданного горючего продукта с очагом (проливом) заданной площади ( $F$ ) на различных расстояниях от очага пожара.

Для сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с возникновением пожаров: пожар пролива в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров, пожар пролива в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров резервуаров № 1 и/или № 2, пожар резервуара № 1 или № 2 парка по всей поверхности с возникновением вторичного пожара соседнего резервуара. При расчете интенсивности теплового излучения пожаров площадь очага пожара (площадь пролива) принималась равной площади внутри обвалования (ограждения) парка ( $F_1 = 7000 \text{ м}^2$ ), то есть при определении площади очага пожара площадь, занимаемая не участвующими в пожаре резервуарами, консервативно (оценка сверху площади очага) рассматривалась как часть площади очага пожара.

Для сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с пожарами пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива, перелившегося через обвалование (ограждение) бензина как без возникновения вторичных пожаров, так и с возникновением вторичных пожаров, при расчете интенсивности теплового излучения пожаров площадь очага пожара (площадь пролива)  $F_2$  консервативно (оценка сверху площади очага) принималась равной площади  $F_{R2}$ , то есть принималась равной  $F_2 = 83\,000 \text{ м}^2$ .

Площадь очага пожара (площадь пролива) в случае пожара резервуара (диаметр резервуаров № 1 и № 2 – 34,2 м) по всей поверхности принималась равной:

$$F_3 = \pi \frac{34,2^2}{4} = 918,6 \text{ м}^2.$$

Результатом расчета интенсивности теплового излучения пожара для соответствующего сценария является получение зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния до очага пожара. Таким образом, для расчета интенсивности теплового излучения целесообразно использование вычислительной техники и соответствующих программных продуктов, позволяющих определять и хранить в памяти указанные зависимости для каждого из рассматриваемых сценариев.

Для демонстрации расчета интенсивности теплового излучения пожара, проведенного в соответствии с Разд. VI Прил. 4, ниже приведен расчет интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина площадью  $F_3$  (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной с подветренной стороны на расстоянии  $r' = 20$  м от границы очага пожара.

Эффективный диаметр пролива рассчитывается в соответствии с формулой (П 4.58) Прил. 4:

$$d = \sqrt{\frac{4F_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 918,6}{\pi}} = 34,2 \text{ м.}$$

Удельная массовая скорость выгорания бензина согласно табл. П 4.4 Прил. 4 принималась равной:  $m' = 0,06$  кг/(м<sup>2</sup> · с).

Температура кипения бензина принималась равной температуре кипения гексана и равна 68 °С.

Плотность паров бензина  $\rho_{\text{п}}$  при температуре кипения определялась по формуле (П 4.29) Прил. 4 и составляла:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{22,413 (1 + 0,00367t_b)} = \frac{95,3}{22,413 (1 + 0,00367 \cdot 68)} = 3,403 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность окружающего воздуха при расчетной температуре  $\rho_a = 1,15$  кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Величина  $u_*$ , рассчитываемая по формуле П 4.60 Прил. 4, составляет:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m'gd}{\rho_{\Pi}}}} = \frac{3,9}{\sqrt[3]{\frac{0,06 \cdot 9,8 \cdot 34,2}{3,403}}} = 2,16.$$

Следовательно, длина пламени определяется по формуле (П4.59) Прил. 4:

$$L = 55d \left[ \frac{m}{\rho_a \sqrt{gd}} \right]^{0,67} u_*^{0,21} =$$

$$= 55 \cdot 34,2 \left[ \frac{0,06}{1,14 \sqrt{9,81 \cdot 34,2}} \right]^{0,67} 2,16^{0,21} = 43,85 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r' + 0,5d = r' + 0,5 \cdot 34,2 = 37,1 \text{ м.}$$

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра  $\theta$  рассчитывается по формуле (П4.61):

$$\cos\theta = u_*^{-0,5} = 2,16^{-0,5} = 0,68.$$

Параметры  $a$ ,  $b$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$ , определяющиеся соответственно формулами (П4.57), (П4.57.1), (П4.57.2), (П4.57.3), (П4.57.4), (П4.57.5), (П4.57.6), (П4.57.7) Прил. 4, составляют:

$$a = \frac{2L}{d} = \frac{2 \cdot 43,85}{34,2} = 2,57;$$

$$b = \frac{2X}{d} = \frac{2 \cdot 37,1}{34,2} = 2,17;$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1)\sin\theta} =$$

$$= \sqrt{(2,57^2 + (2,17+1)^2 - 2 \cdot 2,57(2,17+1)0,73} = 2,17;$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1)\sin\theta} =$$

$$= \sqrt{(2,57^2 + (2,17-1)^2 - 2 \cdot 2,57(2,17-1)0,73} = 1,89;$$

$$C = \sqrt{(1+(b^2-1)\cos^2\theta)} = \sqrt{(1+(2,17^2-1)0,68^2)} = 1,65;$$

$$D = \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} = \sqrt{\frac{2,17-1}{2,17+1}} = 0,61;$$

$$E = \sqrt{\frac{a \cos\theta}{b-a \sin\theta}} = 5,99;$$

$$F = \sqrt{b^2-1} = 1,93.$$

Значение фактора облученности для вертикальной площадки ( $F_V$ ), определяемое формулой (П4.55) Прил. 4, составляет:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \left\{ \begin{aligned} & -E \arctg D + E \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1+a \sin\theta)}{AB} \right] \arctg \left( \frac{AD}{B} \right) + \\ & + \frac{\cos\theta}{C} \left[ \arctg \left( \frac{ab - F^2 \sin\theta}{FC} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \sin\theta}{FC} \right) \right] \end{aligned} \right\} =$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[ -5,99 \cdot 0,546 + 5,99 \frac{2,57^2 + (2,17+1)^2 - 2 \cdot 2,17(1+2,57 \cdot 0,73)}{2,17 \cdot 1,87} \times \right.$$

$$\left. \times 0,61 + \frac{0,68}{1,65} [0,726 + 0,708] \right] = 0,325.$$

Значение фактора облученности для горизонтальной площадки ( $F_H$ ), определяемое формулой (П4.55) Прил. 4, составляет:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left\{ \begin{aligned} & \arctg \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin\theta}{C} \left[ \arctg \left( \frac{ab - F^2 \sin\theta}{FC} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \sin\theta}{FC} \right) \right] - \\ & - \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2(b+1+ab \sin\theta)}{AB} \right] \arctg \left( \frac{AD}{B} \right) \end{aligned} \right\} =$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[ 1,03 + \frac{0,73}{1,65} [0,73 + 0,71] - 0,52 \cdot 0,61 \right] = 0,776.$$

Угловой коэффициент облученности  $F_q$  определяется по формуле (П4.53) Прил. 4:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,326^2 + 0,776^2} = 0,842.$$

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  определяется по формуле (П4.62) Прил. 4:

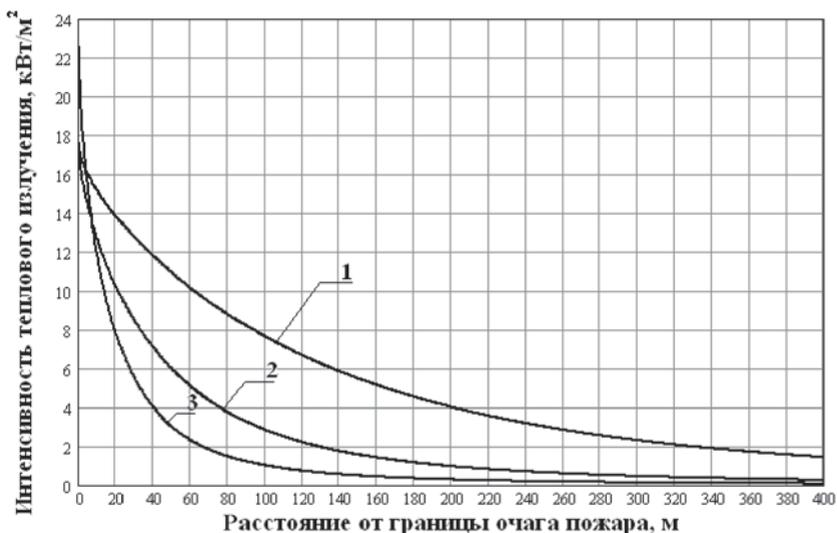
$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4}(r - 0,5d)] = \exp[-7 \cdot 10^{-4}(37,1 - 0,5 \cdot 34,2)] = 0,986.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени  $E_f$  принимается в соответствии с табл. П4.4 Прил. 4. Для рассматриваемого случая (диаметр пролива (очага пожара) – 34,2 м)  $E_f$  находится методом линейной интерполяции приведенных в указанной таблице значений по значениям для диаметров очага 30 и 40 м и составляет:  $E_f = 32,06$  кВт/м<sup>2</sup>.

Таким образом, интенсивность теплового излучения пожара пролива бензина площадью  $F_3$  (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной на расстоянии 20 м от границы очага пожара, согласно формуле (П4.52) составляет:

$$q = E_f F_q \tau = 32,06 \cdot 0,842 \cdot 0,986 = 26,62 \text{ кВт/м}^2.$$

Аналогичным образом были получены зависимости интенсивности теплового излучения пожаров для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с возникновением пожаров пролива бензина и пожаров резервуаров хранения бензина по всей поверхности, от расстояний до границы очага пожара. Графики указанных зависимостей приведены на рис. 3.2.5.



**Рис. 3.2.5. Зависимости интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина от расстояния до границы очага пожара, при площади очага:**

$F_2$  – кривая 1;  $F_1$  – кривая 2;  $F_3$  – кривая 3

*Расчет максимальных горизонтальных размеров взрывоопасных зон*

Расчет горизонтальных размеров взрывоопасных зон, образующихся в результате испарения бензина с поверхности рассматриваемых проливов бензина: пролив бензина в пределах обвалования (ограждения парка) и пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, производился в соответствии с разд. III Прил. 4.

Плотность паров бензина  $\rho_{\text{п}}$  при расчетной температуре определялась по формуле (П4.29) Прил. 4 и составляет:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{22,413(1+0,00367t_0)} = \frac{95,3}{22,413(1+0,00367 \cdot 37)} = 3,744 \text{ кг/м}^3.$$

Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, отсчитываемый от границы пролива, рассчитывался по формуле (П4.34) и составляет:

- горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка):

$$R_{1\text{НКПП}} = 7,8 \left( \frac{m_r}{\rho_r C_{\text{НКПП}}} \right)^{0,33} = 7,8 \left( \frac{9677}{3,744 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 101 \text{ м};$$

- горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка:

$$R_{2\text{НКПП}} = 7,8 \left( \frac{m_r}{\rho_r C_{\text{НКПП}}} \right)^{0,33} = 7,8 \left( \frac{114\,700}{3,744 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 229 \text{ м}.$$

*Определение параметров волны давления  
при сгорании паровоздушного облака*

Расчет зависимости параметров волны давления (избыточное давление и импульс) при сгорании паровоздушных облаков, образующихся в результате испарения бензина с поверхности рассматриваемых проливов бензина: пролив бензина в пределах обвалования (ограждения парка) и пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, от расстояния производился в соответствии с разд. IV Прил. 4.

Результатом определения параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака для соответствующего сценария является получение зависимости избыточного давления и импульса волны давления от расстояния до центра облака. Таким образом, для расчета параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака целесообразно использование вычислительной техники и соответствующих программных продуктов, позволяющих определять и хранить в памяти указанные зависимости для каждого из рассматриваемых сценариев.

Для демонстрации расчета параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака, проведенного в со-

ответствии с разд. IV Прил. 4, ниже приведен расчет избыточного давления и импульса волны давления при сгорании паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения бензина с поверхности пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка) с поступлением в атмосферу массы паров бензина  $M_1 = 9677$  кг, в точке, расположенной на расстоянии 200 м от обвалования (ограждения) парка.

По классификации веществ, способных к образованию горючих смесей с воздухом, бензин в соответствии с табл. П4.1 Прил. 4 относится к классу III. Характер загроможденности окружающего пространства для резервуарного парка в соответствии с П15 Прил. 4 соответствует классу III. Таким образом, согласно табл. П4.3 Прил. 4 ожидаемый режим сгорания паровоздушного облака – дефлаграция, скорость фронта пламени составляет 150–200 м/с.

Видимая скорость фронта пламени определяется для рассматриваемого режима по формуле (П4.37) Прил. 4 и составляет:

$$U = k_1 M_1^{1/6} = 43 \cdot 9677^{1/6} = 198,5 \text{ м/с.}$$

Полученная величина не превосходит максимальной скорости, соответствующей данному классу (200 м/с), следовательно, принимается  $U = 200$  м/с.

Обвалование (ограждение) парка имеет прямоугольную форму ( $62 \times 113$  м). Центр облака совпадает с геометрическим центром пролива – центром обвалования ограждения парка. Расстояние от рассматриваемой точки до центра облака принималось равным сумме расстояния до обвалования (200 м) и полуширины обвалования (ограждения) парка (31 м). Таким образом, расстояние от центра облака принималось равным  $R = 231$  м.

Корректировочный параметр  $\beta$  в соответствии с табл. П4.2 Прил. 4 для бензина равен  $\beta = 1$ . Удельное энерговыделение  $E_{уд}$ , определяемое в соответствии с П14 Прил. 4, составляет:

$$E_{уд} = \beta E_{уд} = 1 \cdot 44 = 44 \text{ МДж/кг.}$$

Величина энергозапаса  $E$  определялась по формуле (П4.36) Прил. 4 с учетом удвоения энергозапаса в соответствии с П11 Прил. 4 в связи с характером расположения облака. При этом консервативно принималось, что во взрыве участвует вся масса горючего вещества, содержащегося в облаке.

$$E = M_1 E_{уд} \cdot 10^6 \cdot 2 = 8,516 \cdot 10^{11} \text{ Дж.}$$

Атмосферное давление  $P_0 = 101\,300$  Па.

Безразмерное расстояние от центра облака  $R_x$ , определяемое по формуле (П4.39) Прил. 4, составляет:

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3} = 231/(8,516 \cdot 10^{11}/101\,300)^{1/3} = 1,136.$$

Степень расширения продуктов сгорания для паровоздушной смеси в соответствии с П20 Прил. 4 принималась равной  $\sigma = 7$ .

Скорость звука принималась равной  $C_0 = 340$  м/с.

Величина безразмерного давления  $P_{x1}$  рассчитывается по формуле (П4.44) Прил. 4 и составляет:

$$\begin{aligned} P_{x1} &= \left( \frac{U_2}{C_0^2} \right) \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \left( \frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) = \\ &= \left( \frac{200^2}{340^2} \right) \left( \frac{7 - 1}{7} \right) \left( \frac{0,83}{1,136} - \frac{0,14}{1,136^2} \right) = 0,185. \end{aligned}$$

Параметр  $W$ , определяемый по формуле (П4.46) Прил. 4, составляет:

$$W = \frac{U_2}{C_0} \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) = \frac{200}{340} \left( \frac{7 - 1}{7} \right) = 0,504.$$

Величина безразмерного импульса фазы сжатия  $I_{x1}$  рассчитывается по формуле (П4.45) Прил. 4 и составляет:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= W (1 - 0,4W) \left( \frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) = \\ &= 0,504 (1 + 0,4 \cdot 0,504) \left( \frac{0,06}{1,136} + \frac{0,01}{1,136^2} - \frac{0,0025}{1,136^3} \right) = 0,024. \end{aligned}$$

Величина избыточного давления  $\Delta P$  рассчитывается по формуле (П4.42) Прил. 4 и составляет:

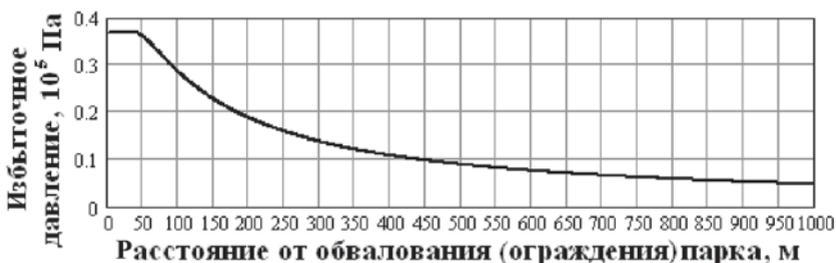
$$\Delta P = P_{x1} \cdot P_0 = 0,185 \cdot 101\,300 = 1,87 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Величина импульса фазы сжатия  $I^+$  рассчитывается по формуле (П4.43) Прил. 4 и составляет:

$$I^+ = I_x \cdot P_0^{2/3} E^{1/3} / C_0 = 0,024 \cdot 101\,300^{2/3} (8,516 \cdot 10^{11})^{1/3} / 340 = 1435 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичным образом были получены зависимости избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления при сгорании паровоздушного облака для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных со взрывом паровоздушного облака, от расстояний до обвалования (ограждения) парка.

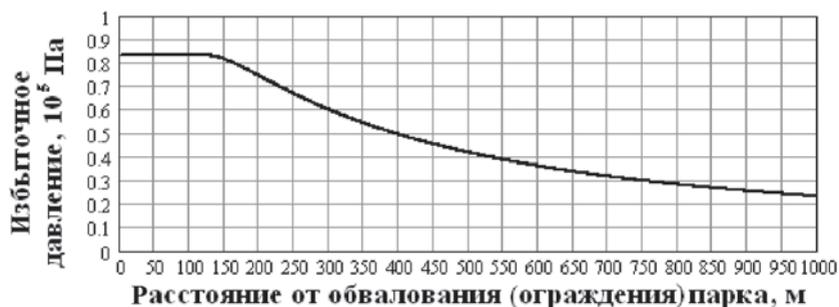
График зависимости избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка (масса паров  $M_1 = 9677$  кг), приведен на рис. 3.2.6.



**Рис. 3.2.6. Зависимость избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров – 9677 кг)**

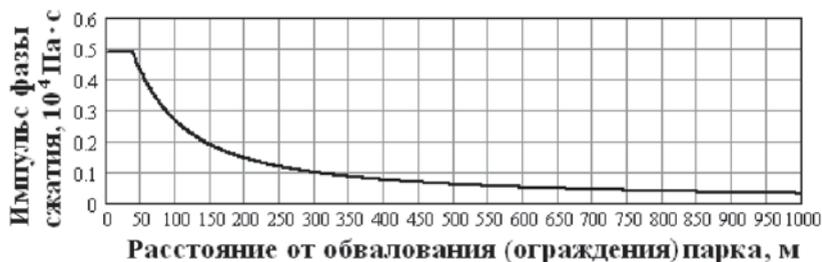
График зависимости избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в резуль-

тате испарения с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка (масса паров  $M_2 = 114\ 700$  кг), приведен на рис. 3.2.7.



**Рис. 3.2.7. Зависимость избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров – 114 700 кг)**

График зависимости импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка (масса паров  $M_1 = 9677$  кг), приведен на рис. 3.2.8.



**Рис. 3.2.8. Зависимость импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров – 9677 кг)**

График зависимости импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при

взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка (масса паров  $M_2 = 114\ 700$  кг), приведен на рис. 3.2.9.

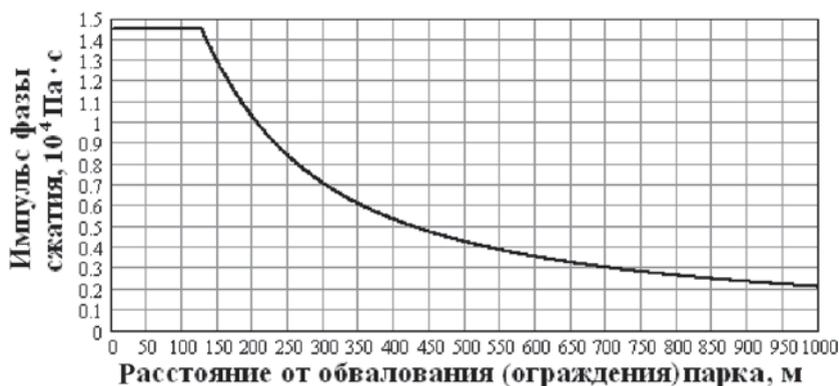


Рис. 3.2.9. Зависимость импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 114 700 кг)

3.2.6. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

В результате построения полей опасных факторов пожара для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров были определены следующие зависимости и величины.

1. Зависимость  $q_1(r)$  (кривая 2 на рис. 3.2.5) – зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров: пожар пролива в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров; пожар пролива в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров резервуаров № 1 и/или № 2; пожар резервуара № 1 или № 2 парка по всей поверхности с возникновением вторичного пожара соседнего резервуара, характеризующихся площадью очага (площадью пролива)  $F_1 = 7000$  м<sup>2</sup>.

2. Зависимость  $q_2(r)$  (кривая 1 на рис. 3.2.5) – зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина в результате полного разрушения резервуара как без возникновения вторичных пожаров, так и с возникновением вторичных пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива)  $F_2 = 83\ 000\ \text{м}^2$ .

3. Зависимость  $q_3(r)$  (кривая 3 на рис. 3.2.5) – зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров, связанных с возникновением пожара одного резервуара по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров, характеризующихся площадью очага  $F_3 = 918\ \text{м}^2$ .

4. Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, отсчитываемый от границы пролива,  $R1_{\text{НКПР}} = 101\ \text{м}$  – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения  $F_{R1} = F_1 = 7000\ \text{м}^2$ ) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка).

5. Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, отсчитываемый от границы пролива,  $R2_{\text{НКПР}} = 229\ \text{м}$  – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения  $F_{R2} = F_2 = 83\ 000\ \text{м}^2$ ) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка.

6. Зависимости  $\Delta F_1(r)$  и  $I_1^+(r)$  (рис. 3.2.6, 3.2.8) – зависимости избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления при взрыве паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения  $F_{R1} = F_1 = 7000\ \text{м}^2$ ) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка), от расстояния до обвалования (ограждения) парка.

7. Зависимости  $\Delta F_2(r)$  и  $I_2^+(r)$  (рис. 3.2.7, 3.2.9) – зависимости избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления при взрыве паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения  $F_{R2} = F_2 = 83\ 000\ \text{м}^2$ ) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, от расстояния до обвалования (ограждения) парка.

На основе указанных выше зависимостей и величин в настоящем разделе определяются следующие условные вероятности поражения людей.

1.  $Q_{dI}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров: пожар пролива в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров; пожар пролива в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров резервуаров № 1 и/или № 2; пожар резервуара № 1 или № 2 парка по всей поверхности с возникновением вторичного пожара соседнего резервуара, характеризующихся площадью очага (площадью пролива)  $F_1 = 7000\ \text{м}^2$ .

Таким образом,  $Q_{dI}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 49, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 67, 68.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_1 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{18} + Q_{20} + Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} + Q_{24} + Q_{27} + Q_{28} + Q_{29} + Q_{30} + Q_{38} + Q_{40} + Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} + Q_{44} + Q_{47} + Q_{48} + Q_{49} + Q_{50} + Q_{53} + Q_{54} + Q_{55} + Q_{56} + Q_{59} + Q_{60} + Q_{61} + Q_{62} + Q_{65} + Q_{66} + Q_{67} + Q_{68} + = 1,0 \cdot 10^{-4}\ \text{год}^{-1}.$$

2.  $Q_{dII}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвало-

вание (ограждение) бензина в результате полного разрушения резервуара как без возникновения вторичных пожаров, так и с возникновением вторичных пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива)  $F_2 = 83\,000\text{ м}^2$ .

Таким образом,  $Q_{dII}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 13, 14, 33, 34.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_{II} = Q_{13} + Q_{14} + Q_{33} + Q_{34} = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

3.  $Q_{dIII}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными с возникновением пожара резервуара № 1 по всей поверхности (площадь очага  $F_3 = 918\text{ м}^2$ ) без возникновения вторичных пожаров.

Таким образом,  $Q_{dIII}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 17, 19.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_{III} = Q_{17} + Q_{19} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

4.  $Q_{dIV}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными с возникновением пожара резервуара № 2 по всей поверхности (площадь очага  $F_3 = 918\text{ м}^2$ ) без возникновения вторичных пожаров.

Таким образом,  $Q_{dIV}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 37, 39.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_{IV} = Q_{37} + Q_{39} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

5.  $Q_{dV}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными со сгоранием в режиме пожара-вспышки паровоздушного облака, образующегося

в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения  $F_{R1} = F_1 = 7000 \text{ м}^2$ ) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка.

Таким образом,  $Q_{dV}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 6, 12, 26, 32, 46, 52, 58, 64, 70.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_V = Q_6 + Q_{12} + Q_{26} + Q_{32} + Q_{46} + Q_{52} + Q_{58} + Q_{64} + Q_{70} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

6.  $Q_{dVI}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными со сгоранием в режиме пожара-вспышки паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения  $F_{R2} = F_2 = 83\,000 \text{ м}^2$ ) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка.

Таким образом,  $Q_{dVI}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 16, 36.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_{VI} = Q_{16} + Q_{36} = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

7.  $Q_{dVI}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными со взрывом паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения  $F_{R1} = F_1 = 7000 \text{ м}^2$ ) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка.

Таким образом,  $Q_{dVI}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 5, 11, 25, 31, 45, 51, 57, 63, 69.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_{VII} = Q_5 + Q_{11} + Q_{25} + Q_{31} + Q_{45} + Q_{51} + Q_{57} + Q_{63} + Q_{69} = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

8.  $Q_{dVII}$  – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными со взрывом паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения  $F_{R2} = F_2 = 83\,000 \text{ м}^2$ ) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка.

Таким образом,  $Q_{dVII}$  – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. табл. 3.2.1) № 15, 35.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет:

$$Q_{VIII} = Q_{15} + Q_{35} = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Для оценки поражающего воздействия опасных факторов пожара, характерных для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, использовались вероятностные и детерминированные критерии, приведенные в Прил. 6.

Определим условные вероятности поражения человека для сценариев, связанных с возникновением пожаров проливов и пожаров резервуаров по всей поверхности (условные вероятности поражения  $Q_{dI}$ ,  $Q_{dII}$ ,  $Q_{dIII}$ ,  $Q_{dIV}$ ).

Указанные условные вероятности в соответствии с разд. II Прил. 6 в зоне непосредственного воздействия пламени пожаров (в пределах очага пожара), соответствующих этим условным вероятностям поражения, принимались равными 1.

Таким образом, для следующих сценариев пожаров (пожар пролива в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров; пожар пролива в обваловании

(ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров резервуаров № 1 и/или № 2; пожар резервуара № 1 или № 2 парка по всей поверхности с возникновением вторичного пожара соседнего резервуара) условная вероятность поражения человека ( $Q_{dl}$ ) в зоне, ограниченной обвалованием (ограждением) парка, принималась равной 1.

Для пожаров пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина в результате полного разрушения резервуара как без возникновения вторичных пожаров, так и с возникновением вторичных пожаров условная вероятность поражения человека ( $Q_{dlV}$ ) в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной  $x = 109,5$  м принималась равной 1.

Для пожаров, связанных с возникновением пожара одного резервуара по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров, условная вероятность поражения человека ( $Q_{dlII}$  или  $Q_{dlV}$ ) в пределах площади, занимаемой резервуаром, на котором реализуется пожар, принималась равной 1.

Условные вероятности поражения человека  $Q_{dl}$ ,  $Q_{dlII}$ ,  $Q_{dlIII}$ ,  $Q_{dlV}$  за пределами соответствующих им очагов пожаров определялись с использованием пробит-функции (формула (Пб.11) Прил. 6) на основе полученных зависимостей  $q_1(r)$ ,  $q_2(r)$ ,  $q_3(r)$ .

В качестве примера для демонстрации расчета условной вероятности поражения тепловым излучением пожара с использованием пробит-функции, проведенного в соответствии с Прил. 6, ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива бензина площадью  $F_3$  (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной на расстоянии  $r' = 20$  м от границы очага пожара.

Интенсивность теплового излучения указанного выше пожара в рассматриваемой точке составляет  $q = 16,97$  кВт/м<sup>2</sup>.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения рассматриваемого пожара равна  $4 \text{ кВт/м}^2$ , составляет  $x = 40,8 \text{ м}$ .

Величина эффективного времени экспозиции  $t$ , определяемого по формуле (Пб.13) Прил. 6, составляет:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{40,8}{5} = 13,17 \text{ с.}$$

Значение пробит функции  $Pr$ , определяемое по формуле (Пб.11) Прил. 6, составляет:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}) = -12,8 + 2,56 \ln(13,17 \cdot 16,97^{4/3}) = 3,46.$$

Значение условной вероятности поражения в зависимости от значения пробит-функции определяется по формуле (Пб.2) Прил. 6:

$$Q_{di}(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU = 0,062.$$

Таким образом, условная вероятность поражения человека тепловым излучением для рассматриваемого случая равна  $Q_d = 0,062$ .

Аналогичным образом были получены значения условных вероятностей поражения  $Q_{dI}$ ,  $Q_{dII}$ ,  $Q_{dIII}$ ,  $Q_{dIV}$  на различных расстояниях от границ соответствующих очагов пожара. Графики полученных зависимостей условных вероятностей  $Q_{dI}$  от расстояния до границ очагов соответствующих указанным вероятностям пожаров приведены на рис. 3.2.10.

Согласно результатам расчета условных вероятностей поражения ( $Q_{dIII}$  или  $Q_{dIV}$ ) при пожарах, связанных с возникновением пожара одного из резервуаров парка по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров, указанные условные вероятности поражения в непосредственной близости от границы очага пожара (поверхность резервуара № 1 или № 2) за его пределами составляют 0,859. При этом на расстоянии 55,9 м от границы очага пожара условные вероятности  $Q_{dIII}$  или  $Q_{dIV}$  принимались равными нулю.

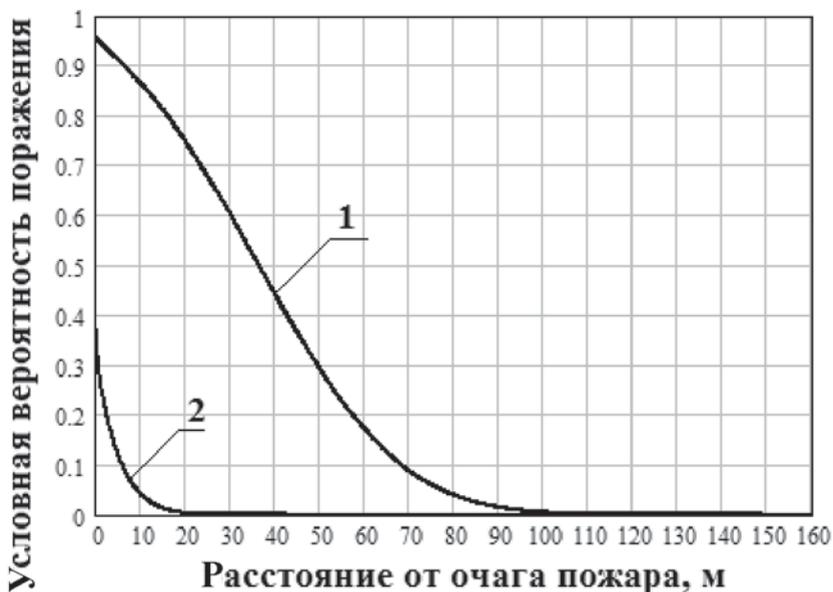


Рис. 3.2.10. Зависимости условных вероятностей поражения человека тепловым излучением от расстояния до очага пожара:

$Q_{dIII}$  – кривая 1;  $Q_{dIV}$  – кривая 2

Минимальное расстояние от стенок резервуаров до обвалования (ограждения) парка составляет 13,9 м для каждого резервуара.

С целью упрощения вычисления величин потенциального риска для рассматриваемого резервуарного парка, условные вероятности поражения  $Q_{dIII}$  и  $Q_{dIV}$  вне пределов занимаемой резервуаром, на котором реализуется пожар (соответственно резервуар № 1 или № 2), площади консервативно (оценка сверху) принимались равными:

$Q_{dIII} = Q_{dIV} = 0,859$  в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной  $55,9 - 13,9 = 42$  м;

$Q_{dIII} = Q_{dIV} = 0$  на расстояниях от обвалования (ограждения) парка более 42 м.

Определим условные вероятности поражения человека для сценариев, связанных со сгоранием паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки (условные вероятности поражения  $Q_{dV}$ ,  $Q_{dVI}$ ).

Радиус воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки, определяемый по формуле (П4.67) Прил. 4, для случая сгорания паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения  $F_{R1} = F_1 = 7000 \text{ м}^2$ ) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка, составляет:

$$R_{F1} = 1,2 \cdot R_{1\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 101 = 121 \text{ м.}$$

Радиус воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки, определяемый по формуле (П4.67) Прил. 4, для случая сгорания паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения  $F_{R2} = F_1 = 83\,000 \text{ м}^2$ ) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, составляет:

$$R_{F2} = 1,2 \cdot R_{2\text{НКПР}} = 1,2 \cdot 229 = 274 \text{ м.}$$

В соответствии с Прил. 6 принималось, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принималась равной 0.

Таким образом, условные вероятности поражения  $Q_{dV}$ ,  $Q_{dVI}$  составляют:

$$Q_{dV} = \begin{cases} 1, & \text{при } r \leq R_{F1} \\ 0, & \text{при } r > R_{F1} \end{cases},$$

$$Q_{dVI} = \begin{cases} 1, & \text{при } r \leq R_{F2} \\ 0, & \text{при } r > R_{F2} \end{cases},$$

где  $r$  – расстояние, отсчитываемое от границы соответствующего пролива (м).

Определим условные вероятности поражения человека для сценариев, связанных со взрывом паровоздушного облака (условные вероятности поражения  $Q_{dVI}$ ,  $Q_{dVIII}$ ).

Условные вероятности поражения человека волной давления  $Q_{dVI}$ ,  $Q_{dVIII}$  для сценариев, связанных со взрывом паровоздушного облака, консервативно определялись с использованием пробит-функции (формулы (П6.7) и (П6.8) Прил. 6) на основе полученных зависимостей  $\Delta P_1(r)$ ,  $I_1^+(r)$ ,  $\Delta P_2(r)$ ,  $I_2^+(r)$ .

Для демонстрации расчета условной вероятности поражения волной давления с использованием пробит-функции, проведенного в соответствии с регламентированным Прил. 6 методом, ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения бензина с поверхности пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка), в точке, расположенной на расстоянии 200 м от обвалования (ограждения) парка.

Согласно результатам расчета параметров волны давления для данного сценария в рассматриваемой точке избыточное давление волны давления составляет:

$$\Delta P = 1,87 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

импульс фазы сжатия волны давления составляет:

$$I^+ = 1435 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Величина параметра  $V$ , определяемого по формуле (П6.8) Прил. 6, составляет:

$$V = \left( \frac{17\,500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left( \frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left( \frac{17\,500}{1,87 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left( \frac{290}{1435} \right)^{9,3} = 0,573.$$

Значение пробит функции  $Pr$ , определяемое по формуле (П6.7) Прил. 6, составляет:

$$Pr = 5,0 - 0,26 \ln V = 5,0 - 0,26 \ln (0,573) = 5,15.$$

Согласно табл. П4.2 Прил. 6 полученному значению пробит-функции соответствует значение условной вероятности поражения 56 %. Таким образом, для рассматриваемого слу-

чая условная вероятность поражения человека волной давления равна  $Q_d = 0,56$ .

Аналогичным образом были получены значения условных вероятностей поражения  $Q_{dVI}$ ,  $Q_{dVIII}$  на различных расстояниях от обвалования (ограждения) парка. Графики полученных зависимостей условных вероятностей  $Q_{dVI}$ ,  $Q_{dVIII}$  от расстояния до обвалования (ограждения парка) приведены на рис. 3.2.11.



**Рис. 3.2.11. Зависимости условных вероятностей поражения человека волной давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка:**

$Q_{dVIII}$  – кривая 1;  $Q_{dVI}$  – кривая 2

Условные вероятности поражения человека при взрыве паровоздушного облака  $Q_{dVI}$ ,  $Q_{dVIII}$  внутри обвалования (ограждения) парка принимались равными 1.

### 3.2.7. Вычисление расчетных величин пожарного риска.

*Потенциальный пожарный риск на территории объекта и в жилой зоне вблизи объекта*

В соответствии с П25 при определении потенциального пожарного риска для рассматриваемого резервуарного парка его территория для удобства расчетов была разделена на

зоны: А, В, С (см. рис. 3.2.12), внутри которых значения потенциального риска полагаются одинаковыми.

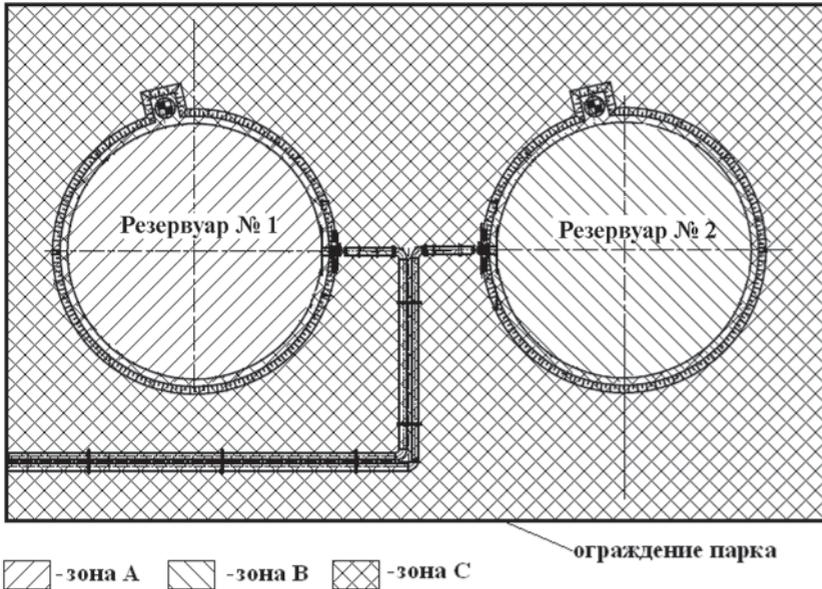


Рис. 3.2.12. Схема резервуарного парка к расчету потенциального пожарного риска в границах обвалования (ограждения)

Условная вероятность поражения  $Q_{dI}$  в зоне А составляет:  
 $Q_{dI} = 1.$

Условная вероятность поражения  $Q_{dII}$  в зоне А составляет:  
 $Q_{dII} = 1.$

Условная вероятность поражения  $Q_{dIII}$  в зоне А составляет:  
 $Q_{dIII} = 1.$

Условная вероятность поражения  $Q_{dIV}$  в зоне А составляет:  
 $Q_{dIV} = 0,859.$

Условная вероятность поражения  $Q_{dV}$  в зоне А составляет:  
 $Q_{dV} = 1.$

Условная вероятность поражения  $Q_{dVI}$  в зоне А составляет:  
 $Q_{dVI} = 1.$

Условная вероятность поражения  $Q_{dVII}$  в зоне А составляет:  
 $Q_{dVII} = 1.$

Условная вероятность поражения  $Q_{dVIII}$  в зоне А составляет:  $Q_{dVIII} = 1$ .

Таким образом, величина потенциального пожарного риска в зоне А, определяемая по формуле (1), составляет:

$$P_A = \sum_{j=1}^J Q_{dj} Q_j = Q_{dI} Q_I + Q_{dII} Q_{II} + Q_{dIII} Q_{III} + Q_{dIV} Q_{IV} + Q_{dV} Q_V + Q_{dVI} Q_{VI} + Q_{dVII} Q_{VII} + Q_{dVIII} Q_{VIII} = 1 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 0,859 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Условная вероятность поражения  $Q_{dI}$  в зоне В составляет:  $Q_{dI} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dII}$  в зоне В составляет:  $Q_{dII} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dIII}$  в зоне В составляет:  $Q_{dIII} = 0,859$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dIV}$  в зоне В составляет:  $Q_{dIV} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dV}$  в зоне В составляет:  $Q_{dV} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dVI}$  в зоне В составляет:  $Q_{dVI} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dVII}$  в зоне В составляет:  $Q_{dVII} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dVIII}$  в зоне В составляет:  $Q_{dVIII} = 1$ .

Таким образом, величина потенциального пожарного риска в зоне В, определяемая по формуле (1), составляет:

$$P_B = \sum_{j=1}^J Q_{dj} Q_j = Q_{dI} Q_I + Q_{dII} Q_{II} + Q_{dIII} Q_{III} + Q_{dIV} Q_{IV} + Q_{dV} Q_V + Q_{dVI} Q_{VI} + Q_{dVII} Q_{VII} + Q_{dVIII} Q_{VIII} = 1 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} + 0,859 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Условная вероятность поражения  $Q_{dI}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dI} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dII}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dII} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dIII}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dIII} = 0,859$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dIV}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dIV} = 0,859$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dV}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dV} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dVI}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dVI} = 1$ .

Условная вероятность поражения  $Q_{dVII}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dVII} = 1$ .

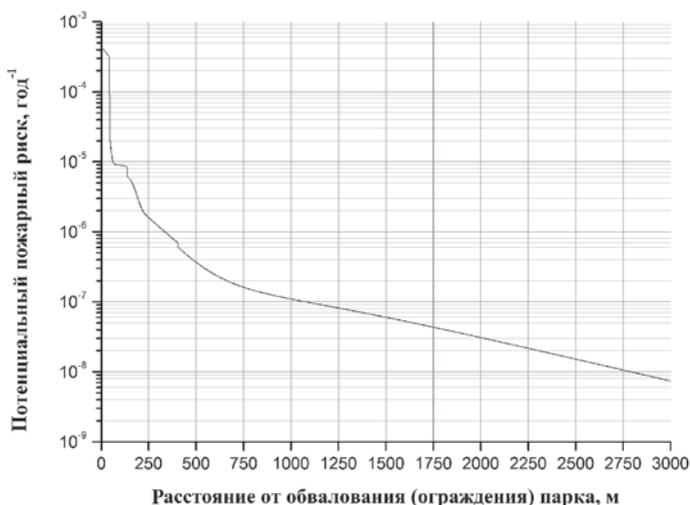
Условная вероятность поражения  $Q_{dVIII}$  в зоне С составляет:  
 $Q_{dVIII} = 1$ .

Таким образом, величина потенциального пожарного риска в зоне С  $P_C$ , определяемая по формуле (1), составляет:

$$P_C = \sum_{j=1}^J Q_{dj} Q_j = Q_{dI} Q_I + Q_{dII} Q_{II} + Q_{dIII} Q_{III} + Q_{dIV} Q_{IV} + Q_{dV} Q_V + Q_{dVI} Q_{VI} + Q_{dVII} Q_{VII} + Q_{dVIII} Q_{VIII} = 1 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} + 0,859 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 0,859 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Аналогично по формуле (1) рассчитывается величина потенциального пожарного риска на различных расстояниях от обвалования (ограждения) парка.

Результаты расчета потенциального пожарного риска за пределами обвалования (ограждения) представлены на рис. 3.2.13 в виде графика зависимости потенциального пожарного риска от расстояния до обвалования (ограждения) парка.



**Рис. 3.2.13. Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния до обвалования (ограждения) парка**

### *Индивидуальный пожарный риск на территории объекта*

Значение индивидуального риска для отдельного работника из числа персонала зависит от особенностей его деятельности и доли времени, которое работник проводит на различных участках объекта, характеризующихся различными значениями потенциального риска.

Вероятность присутствия работника на территории рассматриваемого парка  $q_m$  оценивалась, исходя из следующих предпосылок.

Принималось, что доля времени присутствия конкретного работника из числа персонала (работника  $m$ ) на территории производственного объекта, в состав которого входит рассматриваемый резервуарный парк, не превышает 40 ч в неделю, что составляет около 24 %.

Рассматриваемый объект (резервуарный парк) характеризуется отсутствием постоянных рабочих мест, следовательно, персонал присутствует в парке не более 50 % своего рабочего времени.

Таким образом, вероятность (доля времени) присутствия конкретного работника (работника  $m$ ) на территории рассматриваемого резервуарного парка не превышает:  $q_m = 0,24 \cdot 0,5 = 0,12$ .

Максимальное значение потенциального риска на территории рассматриваемого резервуарного парка составляет  $4,3 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.

Следовательно, величина индивидуального пожарного риска для персонала, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом парке, определяемая в соответствии с формулой (9), не превышает:

$$R = 0,12 \cdot 4,3 \cdot 10^{-4} = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Рассматриваемый резервуарный парк является опасным производственным объектом, и полученная величина индивидуального риска не превышает нормативное значение.

*Индивидуальный и социальный пожарный риск  
в жилой зоне вблизи объекта*

Минимальное расстояние от обвалования (ограждения) рассматриваемого резервуарного парка до жилой зоны составляет 3000 м.

Величина потенциального пожарного риска на расстоянии 3000 м от обвалования (ограждения) резервуарного парка составляет  $7,4 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>.

В соответствии с П42 для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, величина индивидуального риска принимается равной величине потенциального риска в этой зоне.

Таким образом, величина индивидуального пожарного риска, обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом резервуарном парке, для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, составляет  $7,4 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup> и не превышает нормативное значение.

Условные вероятности поражения  $Q_{dI}$ ,  $Q_{dII}$ ,  $Q_{dIII}$ ,  $Q_{dIV}$ ,  $Q_{dV}$ ,  $Q_{dVI}$ ,  $Q_{dVII}$  в жилой зоне вблизи объекта (на расстоянии 3000 м от обвалования (ограждения) парка) равны 0.

Условная вероятность поражения  $Q_{dVIII}$  в жилой зоне вблизи объекта (на расстоянии 3000 м от обвалования (ограждения) парка составляет:  $Q_{dVIII} = 0,053$ .

В жилой зоне расположены дачные участки (60 участков). Среднее число людей, одновременно находящихся в жилой зоне, определялось из расчета 3 чел. на один участок. Таким образом, среднее число людей, находящихся в жилой зоне, составляет:  $n = 60 \cdot 3 = 180$  чел.

Среднее число погибших людей в жилой зоне в результате реализации сценария, характеризующегося условной вероятностью поражения  $Q_{dVIII}$ , определяемое в соответствии с формулой (12), составляет:

$$N = Q_{dVIII} n = 0,053 \cdot 180 = 9,54 < 10.$$

Таким образом, в соответствии с формулой (11) величина социального пожарного риска  $S$ , обусловленного возможными пожарами в рассматриваемом резервуарном парке, для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, не превышает нормативное значение.

### **3.3. Пример расчета индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта**

В настоящем примере приводится расчет величины индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории некоторого заданного производственного объекта (далее – объект), то есть расчет индивидуального пожарного риска для персонала объекта.

Территория рассматриваемого объекта представляет собой совокупность следующих участков:

- участок А – здание с помещениями А1, А2 и А3;
- участок В – открытая площадка;
- участок С – открытая площадка.

В ходе проведения расчетов по определению величин пожарного риска в соответствии с Методикой [1] для объекта были получены следующие результаты расчета потенциального пожарного риска (табл. 3.3.1, 3.3.2).

Таблица 3.3.1

**Значения потенциального пожарного риска  
на территории объекта**

Наименование участка территории объекта	Максимальная величина потенциального пожарного риска в пределах участка, $P(i)$ , год <sup>-1</sup>
Участок А	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Участок В	$2,7 \cdot 10^{-6}$
Участок С	$1,9 \cdot 10^{-5}$

Пр и м е ч а н и е: для участка А приведено значение потенциально-го пожарного риска, обусловленного опасностью пожаров вне пределов этого здания.

Таблица 3.3.2

**Значения потенциального пожарного риска в здании (участок А),  
обусловленного опасностью пожаров в этом здании**

Наименование помещения	Максимальная величина потенциального пожарного риска в пределах участка, $P_p$ , год <sup>-1</sup>
Помещение А1	$3,4 \cdot 10^{-6}$
Помещение А2	$5,6 \cdot 10^{-4}$
Помещение А3	$1,4 \cdot 10^{-6}$

Согласно штатному расписанию и характеру распределения персонала по территории объекта персонал может быть разделен на три условные категории (категории I, II и III) таким образом, что для работников одной категории доли времени присутствия на различных участках объекта совпадают. При этом суммарная доля времени нахождения каждого из сотрудников на объекте в году с учетом 40-часовой рабочей недели и отпуска (30 календарных дней) составляет примерно 22 %.

Вероятности присутствия работников каждой из категорий персонала на различных участках объекта приведены в табл. 3.3.3.

**Вероятность присутствия персонала  
на различных участках объекта**

Наименование участка территории объекта	Вероятность присутствия на участке объекта, $q_{im}$		
	Работники I категории	Работники II категории	Работники III категории
Участок А	0,14	0,05	0,05
(помещение А1)	(0,06)	(0,01)	(0,01)
(помещение А2)	(0,06)	(0,01)	(0,01)
(помещение А3)	(0,02)	(0,03)	(0,03)
Участок В	0,04	0,01	0,16
Участок С	0,04	0,16	0,01

По формуле (9) рассчитывается величина индивидуально-пожарного риска  $R_{m1}$  для работника I-й категории при его нахождении на территории объекта:

$$R_{m1} = \sum_{i=1}^I q_{im} P(i) = 0,14 \cdot 1,2 \cdot 10^{-7} + 0,04 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} + 0,04 \times 1,9 \cdot 10^{-5} = 8,8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

По формуле (10) рассчитывается величина индивидуально-пожарного риска  $R_{m2}$  для работника I-й категории при его нахождении в здании (участок А) объекта, обусловленная опасностью пожаров в этом здании:

$$R_{m2} = \sum_{i=1}^N P_i q_{im} = 3,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,06 + 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,06 + 1,4 \cdot 10^{-6} \times 0,02 = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

В соответствии с П2.6.18 величина индивидуального пожарного риска для работников I-й категории  $R_I$  составляет:

$$R_I = R_{m1} + R_{m2} = 8,8 \cdot 10^{-7} + 5,4 \cdot 10^{-5} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Аналогично рассчитываются величины индивидуального пожарного риска для работников II-й и III-й категории, которые составляют соответственно:

$$R_{II} = 8,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \text{ и } R_{III} = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

### 3.4. Пример расчета социального пожарного риска в жилой зоне вблизи объекта

В настоящем примере приводится расчет величины социального пожарного риска в жилой зоне вблизи некоторого заданного производственного объекта (далее – объект).

Жилая зона вблизи рассматриваемого объекта характеризуется наличием двух областей (зоны А и В) с возможностью присутствия населения в количестве  $n_A = 30$  чел. и  $n_B = 50$  чел. соответственно в зоне А и в зоне В.

В ходе проведения расчетов по определению величин пожарного риска в соответствии с Методикой [1] для объекта рассматриваются сценарии развития пожароопасных ситуаций, характеризующиеся следующими (см. табл. 3.4.1) частотами реализации и условными вероятностями поражения.

Таблица 3.4.1

**Частота реализации, условные вероятности  
поражения человека для рассматриваемых сценариев**

№ рассматриваемого сценария, $j$	Частота реализации $j$ -го сценария, $Q_j$ , год <sup>-1</sup>	Условная вероятность поражения человека в жилой зоне	
		в зоне А, $Q_{dAj}$	в зоне В, $Q_{dBj}$
1	$1,2 \cdot 10^{-7}$	0,032	0,117
2	$2,7 \cdot 10^{-8}$	0,512	0,465
3	$0,6 \cdot 10^{-7}$	0,276	0,005
4	$5,0 \cdot 10^{-6}$	0,124	0,012
5	$6,4 \cdot 10^{-8}$	0,378	0,293
6	$3,2 \cdot 10^{-9}$	0,874	0,705

По формуле (12) определяется среднее число погибших людей в жилой зоне вблизи объекта в результате реализации каждого из рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций.

Таким образом, в случае реализации сценария № 1 среднее число погибших людей в жилой зоне вблизи объекта  $N_1$  составляет:

$$N_1 = Q_{dA1} n_A + Q_{dB1} n_B = 0,032 \cdot 30 + 0,117 \cdot 50 = 6,81.$$

Аналогично определяется среднее число погибших людей в жилой зоне вблизи объекта и для других сценариев из числа рассматриваемых. Результаты расчета среднего числа погибших людей в жилой зоне вблизи объекта в результате реализации каждого из рассматриваемых сценариев приведены в табл. 3.4.2.

Таблица 3.4.2

**Среднее число погибших людей в жилой зоне  
в результате реализации рассматриваемых сценариев**

№ рассматриваемого сценария, $j$	Среднее число погибших людей в жилой зоне вблизи объекта в результате реализации $j$ -го сценария $N_p$ чел	Примечания
1	6,81	< 10
2	38,61	$\geq 10$
3	8,53	< 10
4	4,32	< 10
5	25,99	$\geq 10$
6	61,47	$\geq 10$

Как видно из табл. 3.4.2, для сценариев №№ 1, 3 и 4 среднее число погибших людей в жилой зоне вблизи объекта в результате реализации указанных сценариев развития пожароопасных ситуаций составляет менее 10 человек, следовательно, в соответствии с формулой (12) Методики [1] указанные сценарии при расчете величины социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, не учитываются.

Для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, величина социального пожарного риска  $S$  (год<sup>-1</sup>) определяется по формуле (11) Методики [1] и составляет:

$$S = Q_2 + Q_5 + Q_6 = 2,7 \cdot 10^{-8} + 6,4 \cdot 10^{-8} + 3,2 \cdot 10^{-9} = 9,4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Таким образом, величина социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, составляет  $9,4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

### 3.5. Пример расчета для производственного объекта трубопроводного транспорта

На настоящем примере показан расчет обусловленных возможными пожарами на производственном объекте трубопроводного транспорта (подводный переход магистрального трубопровода через водную преграду) величин индивидуального риска, выполненный по Методике [1].

#### 3.5.1. Описание объекта.

В качестве производственного объекта трубопроводного транспорта в настоящем примере рассматривается подводный переход магистрального продуктопровода через водную преграду (реку).

Ниже приведены технические характеристики магистрального продуктопровода на участке его перехода через водную преграду:

- пропускная способность составляет 6,9 млн т/год;
- транспортируемый продукт представляет собой дизельное топливо;
- наружный диаметр трубопровода составляет 530 мм;
- толщина стенки трубопровода составляет 8,3 мм;
- избыточное давление на участке подводного перехода составляет не более 6,4 МПа;
- температура стенки трубопровода при эксплуатации составляет от  $-5$  до  $+22$  °С;
- подводная часть трубопровода проложена без использования кожуха.

Протяженность магистрального продуктопровода на участке перехода через водную преграду составляет 700 м.

Трасса магистрального продуктопровода на участке перехода через водную преграду не имеет пересечений с автомобильными и железными дорогами, подземными трубопроводами и другими подземными, наземными и надземными коммуникациями.

На обоих берегах водной преграды размещена запорная арматура с приводом для дистанционного и местного управления.

Максимальная глубина водной преграды составляет 3,2 м.  
Максимальная глубина заложения трубопровода в грунте составляет 0,5 м.

Жилая застройка находится на расстоянии более 300 м от подводного перехода магистрального продуктопровода через водную преграду.

3.5.2. Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации.

*Физико-химические свойства транспортируемых  
по магистральному продуктопроводу горючих веществ  
и материалов*

Свойства дизельного топлива принимались согласно данным, приведенным в Прил. 1 настоящего Пособия. При этом с определенным запасом надежности свойства дизельного топлива принимались по дизельному топливу «Л» (летнее) (ГОСТ 305–73): суммарная формула –  $C_{14,511}H_{29,120}$ ; молярная масса – 203,6 кг/кмоль; температура вспышки – +40 °С; константы уравнения Антуана в диапазоне температур +60÷240 °С:  $A = 5,00109$ ,  $B = 1314,04$ ,  $CA = 192,473$ ; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 0,52 % (об).

*Статистические данные, необходимые для определения  
частоты реализации пожароопасных ситуаций*

Базовая частота разгерметизации магистрального продуктопровода принимается согласно Прил. 2 к настоящему Пособию как для нефтепроводов равной  $\lambda_6 = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ (м} \cdot \text{год)}^{-1}$ .

При определении размеров повреждений и частоты их реализации может быть использован подход, изложенный в Прил. 2 к настоящему Пособию.

Наибольший риск аварий на продуктопроводах связан с продольными разрушениями, которые могут происходить как по основному металлу труб, так и в зоне сварных швов, при образовании коррозионных «свищей», «гильотинных» разрывов.

В качестве дефектных отверстий в соответствии с Прил. 2 к настоящему Пособию приняты как для нефтепроводов три отверстия с характерными размерами:

$0,3 - L_p/D$  – «свищи»;

$0,75 - L_p/D$  – трещины;

$1,5 - L_p/D$  – «гильотинный» разрыв,

где  $L_p$  – характерный размер продольной трещины, м;  $D$  – условный диаметр магистрального трубопровода, м.

Площадь дефектного отверстия  $S_{эфф}$  составляет  $0,0072 S_0$ ,  $0,0448 S_0$ ,  $0,179 S_0$  соответственно, где  $S_0$  – площадь поперечного сечения трубопровода. Значения  $S_{эфф}$  приведены для верхней границы интервала характерных размеров  $L_p/D$  дефектных отверстий в предположении об их ромбической форме с соотношением длины к ширине 8:1.

Условная вероятность реализации (доля разрывов) для отверстий в соответствии с Прил. 2 к настоящему Пособию составляет:

$0,55$  – «свищи»;

$0,35$  – трещины;

$0,1$  – «гильотинный» разрыв.

Распределение аварий по причинам и размерам повреждений принято как для нефтепроводов и приведено в табл. П2.6 Прил. 2 к настоящему Пособию.

*Данные по метеорологическим условиям  
в районе местонахождения объекта*

Расчетная температура в соответствии с Прил. 4 к настоящему Пособию принималась условно равной максимальной среднемесячной температуре окружающего воздуха в наиболее теплое время года, которая составляет  $+19,6$  °С.

Ветровой режим в месте расположения рассматриваемого объекта характеризуется преобладанием в году ветров юго-западных и западных направлений. Средняя годовая скорость ветра составляет  $4,4$  м/с. Наибольшая средняя месячная скорость ветра наблюдается в октябре и составляет  $4,9$  м/с, наименьшая –  $3,5$  м/с в августе. Преобладающее направление ветра летом – юго-западное и северо-восточное. Повторяемость штиля в течение года составляет в среднем  $9$  %.

### 3.5.3. Анализ пожарной опасности рассматриваемого объекта.

Аварии с пожарами и взрывами на объектах трубопроводного транспорта, транспортирующие горючие жидкости, являются, как правило, следствием ситуаций, развивающихся по следующей типовой схеме:

- в результате нарушения герметичности трубопровода происходит истечение продукта в окружающее пространство;
- вышедшая горючая жидкость либо воспламеняется, либо создает зону парогазовоздушной смеси со взрывоопасной концентрацией горючего;
- количество выходящего продукта и масштабы пожара увеличиваются со временем, принося большой материальный ущерб и приводя к человеческим жертвам.

Таким образом, пожар (взрыв) возникает в ситуации, которая характеризуется одновременно тремя факторами: утечкой горючего вещества, испарением и образованием горючей смеси паров с воздухом, наличием источника зажигания.

Типовым сценарием развития аварий на магистральном продуктопроводе является:

- интенсивное поступление в окружающее пространство нефтепродукта;
- растекание и испарение нефтепродукта;
- образование и распространение взрывоопасного газопаровоздушного облака;
- воспламенение газопаровоздушного облака с последующим его сгоранием во взрывном режиме или режиме пожара-вспышки;
- пожар пролива;
- возможное воздействие опасных факторов пожара на людей.

#### *Определение перечня пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития*

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров на рассматриваемом объекте был использован метод логических деревьев событий.

Построение логического дерева событий, лежащего в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого продуктопровода, осуществлялось исходя из следующих консервативных предпосылок:

1. Поскольку температура окружающей среды ниже температуры вспышки транспортируемого продукта, то возможность возникновения пожара-вспышки и взрыва паровоздушного облака не рассматривалась.

2. За промежуток времени, прошедший с момента образования пролива дизельного топлива и до момента его последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения, испарится незначительное количество продукта, в результате чего площадь пролива не претерпит существенных изменений.

3. В связи с прокладкой продуктопровода на переходе через водную преграду образование горизонтального факела невозможно по причине размывания струи истекающего продукта в воде и отсутствия окислителя (кислорода воздуха).

4. Поскольку продуктопровод заложен на сравнительно малой глубине (3,2 м) при значительном давлении (6,4 МПа) в трубопроводе, то в случае его разгерметизации возможно истечение продукта в вертикальной плоскости с образованием вертикального факела.

Типовое логическое дерево событий развития аварий, связанных с разгерметизацией продуктопровода и поступлением дизельного топлива в окружающую среду показано на рис. 3.5.1.

Условные вероятности реализации различных ветвей дерева событий определены на основании данных по вероятностям мгновенного воспламенения и воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения (воспламенения с задержкой), представленные в Прил. 3 к настоящему Пособию (данные для горючих жидкостей).

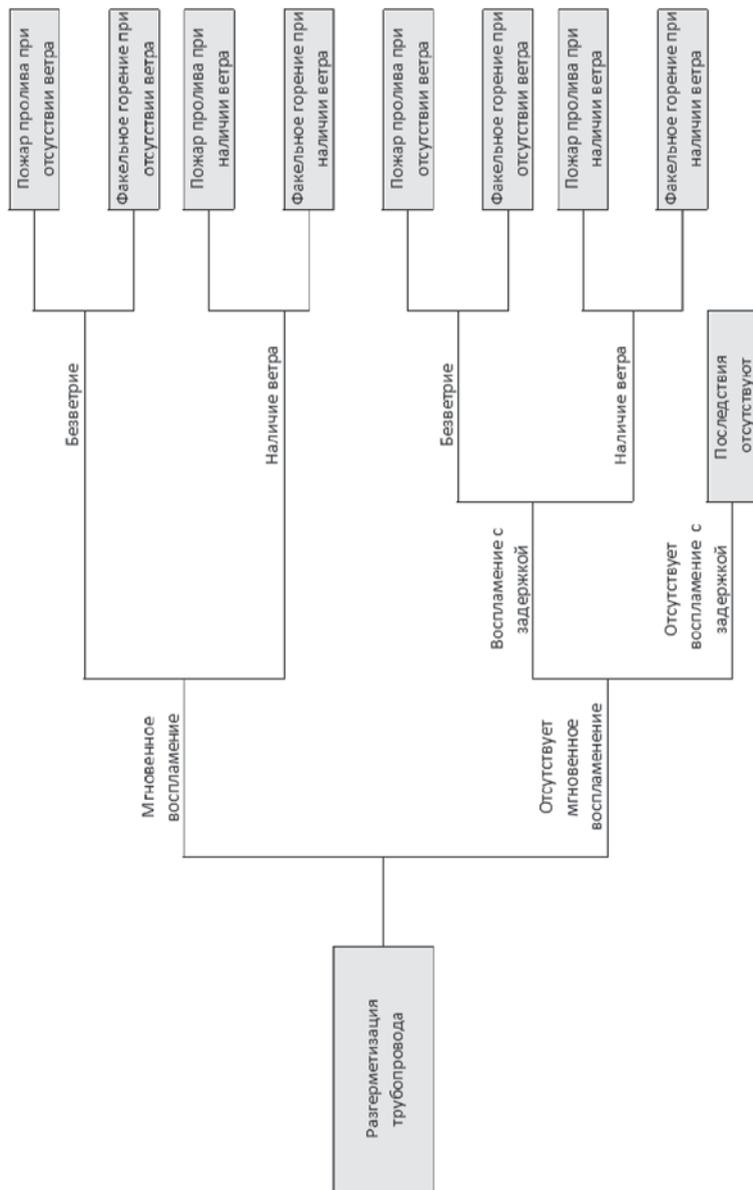


Рис. 3.5.1.1. Дерево событий развития пожароопасных ситуаций на продуктопроводе

3.5.4. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.

Определение удельных частот аварийной разгерметизации магистрального продуктопровода для различных типов повреждений проводилось на основании метода, изложенного в Прил. 2 к настоящему пособию.

#### *Внешнее воздействие*

Частота разгерметизации по причине внешнего воздействия зависит как от диаметра трубопровода, так и от толщины его стенки. Поскольку требуемая нормативными документами толщина стенки увеличивается с увеличением диаметра трубы, для учета влияния внешнего воздействия вводится коэффициент влияния, связанный с толщиной стенки трубопровода.

Поправочный коэффициент  $k_{тс}$  к относительной доле  $f_{л}(m)$  аварий, вызванных внешним воздействием, определяется по формуле:

$$k_{тс} = \exp [-0,275 (\delta - 6)],$$

где  $\delta$  – толщина стенки трубы, мм.

Поправочный коэффициент  $k_{зт}$  для трубопроводов, заглубленных на глубину более 1 м, составляет 0,73, а для трубопроводов, заглубленных на глубину от 0,8 до 1 м, составляет 0,93. При заглублении на глубину менее 0,8 м поправочный коэффициент к базовому показателю равен 1.

Принимаем с определенным запасом надежности, что для рассматриваемого трубопровода  $k_{зт} = 1,0$ .

Предполагается, что на участках переходов, выполненных методом наклонно направленного бурения, из-за большой глубины перехода полностью исключено внешнее воздействие (поправочный коэффициент  $k_{ннб} = 0$ ), вне этих участков  $k_{ннб} = 1$ .

Причинами повреждения трубопроводов на переходах через автодороги, железные дороги, инженерные коммуникации является возможность внешнего воздействия,

например, в случае использования тяжелой строительной или землеройной техники без согласования с компанией-оператором магистральных трубопроводов.

Поскольку достоверная информация о зависимости частоты аварий именно на переходах через автодороги, железные дороги и инженерные коммуникации отсутствует, методом экспертной оценки установлено, что на данных переходах частота аварий, вызванных внешним воздействием, в 2 раза превышает частоту аварий, вызванных тем же внешним воздействием на соседнем с переходом участке, т. е. поправочный коэффициент  $k_{\text{пер}} = 2$ .

В том случае, если для трубопровода на переходах через автодороги, железные дороги, инженерные коммуникации предусмотрены защитные футляры (кожухи), т. е.  $k_{\text{пер}} = 1$ .

Относительная доля аварий  $f_{1j}$  для  $j$ -го размера повреждений по причине внешнего воздействия рассчитывается по формуле:

$$f_{1j} = f_{61j} \cdot k_{\text{тс}} \cdot k_{\text{зт}} \cdot k_{\text{ннб}} \cdot k_{\text{пер}},$$

где  $f_{61j}$  – базовая относительная доля аварий по причине внешнего воздействия согласно табл. П2.6 настоящего Пособия.

#### *Строительный брак и дефекты материалов*

Относительная доля аварий  $f_{2j}$  для  $j$ -го размера повреждений по причине строительного брака и дефектов материалов рассчитывается по формуле:

$$f_{2j} = f_{62j} \cdot k_{\text{бд}},$$

где  $f_{62j}$  – базовая относительная доля аварий по причине строительного брака и дефектов материалов согласно табл. П2.6,  $k_{\text{бд}}$  – поправочный коэффициент.

Принимаем с определенным запасом надежности, что для рассматриваемого трубопровода  $k_{\text{бд}} = 1,0$ .

#### *Коррозия*

Поправочный коэффициент  $k_{\text{ктс}}$  для трубопроводов, учитывающий влияние толщины стенки на частоту повреждений по причине коррозии, принимается равным:  $k_{\text{ктс}} = 2$  при

толщине стенки менее 5 мм;  $k_{\text{ктс}} = 1$  – толщине стенки в интервале от 5 до 10 мм,  $k_{\text{ктс}} = 0,03$  – толщине стенки более 10 мм.

Поправочный коэффициент  $k_{\text{кпз}}$ , учитывающий влияние применяемой системы защиты (тип и качество изоляционного покрытия, электрохимическая защита, внутритрубная диагностика и т. п.) на частоту повреждений по причине коррозии, принимается с определенным запасом надежности для рассматриваемого трубопровода равным  $k_{\text{кпз}} = 1,0$ .

Относительная доля аварий  $f_{3j}$  для  $j$ -го размера повреждений по причине коррозии рассчитывается по формуле:

$$f_{3j} = f_{63j} \cdot k_{\text{ктс}} \cdot k_{\text{кпз}},$$

где  $f_{63j}$  – базовая относительная доля аварий по причине коррозии согласно табл. П2.6.

#### *Движение грунта, вызванное природными явлениями*

Для инцидентов, вызываемых движением грунта, характерен большой процент аварий с полным разрывом трубопровода.

Относительная доля аварий  $f_{4j}$  для  $j$ -го размера повреждений по причине движения грунта рассчитывается по формуле:

$$f_{4j} = f_{64j} \cdot k_{\text{дгд}} \cdot k_{\text{пер}},$$

где  $f_{64j}$  – базовая относительная доля аварий по причине движения грунта согласно табл. П2.6;  $k_{\text{пер}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий прохождение трассы трубопровода через водные преграды, принимаемый равным:  $k_{\text{пер}} = 5$  для водных преград;  $k_{\text{пер}} = 1$  – при отсутствии переходов либо выполненных методом ННБ;  $k_{\text{дгд}}$  – поправочный коэффициент, зависящий от диаметра трубопровода ( $D$ , мм):

$$k_{\text{дгд}} = \exp[-0,00156(D-274)].$$

Принимаем с определенным запасом надежности, что для рассматриваемого трубопровода  $k_{\text{пер}} = 5,0$ .

### *Ошибки оператора*

Происшествия, связанные с ошибкой оператора, наблюдаются чаще на трубопроводах небольших диаметров и, как правило, приводят к появлению дефектов.

Относительная доля аварий  $f_{sj}$  для  $j$ -го размера повреждений по причине ошибки оператора рассчитывается по формуле:

$$f_{sj} = f_{65j} \cdot k_{\text{оп}},$$

где  $f_{65j}$  – базовая относительная доля аварий по причине ошибки оператора согласно табл. П2.6;  $k_{\text{оп}}$  – поправочный коэффициент, зависящий от диаметра трубопровода ( $D$ , мм):

$$k_{\text{оп}} = \exp [-0,004 (D - 264)].$$

### *Прочие и неизвестные причины*

Относительная доля аварий по прочим и неизвестным причинам  $f_{6j}$  для  $j$ -го размера повреждений принимается равной базовой согласно табл. П2.6.

### *Результаты расчета частоты аварийной разгерметизации магистрального продуктопровода*

В табл. 3.5.1 приведены результаты расчета частоты аварийной разгерметизации магистрального продуктопровода на участке его перехода через водную преграду для различных причин разгерметизации и размеров повреждения продуктопровода.

Частота реализации того или иного сценария развития пожароопасной ситуации определяется путем умножения суммарной частоты аварийной разгерметизации магистрального продуктопровода для данного типа повреждения (суммирование происходит по всем причинам разгерметизации) на условную вероятность реализации того или иного сценария развития пожароопасной ситуации, определенной на основании дерева событий, представленного на рис. 3.5.1, и данных по вероятностям мгновенного воспламенения и воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения (воспламенения с задержкой).

**Частоты аварийной разгерметизации магистрального  
продуктопровода для различных причин разгерметизации  
и размеров повреждения продуктопровода**

Причина		Частота разгерметизации, вызванной данной причиной, $\lambda_{ij}(t)$ , $\text{м}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$		
		«Свищи»	Трещина	Разрыв
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$
$I = 1$	Внешнее воздействие	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
$I = 2$	Брак строительства, дефект материалов	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
$I = 3$	Коррозия	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	–
$I = 4$	Движение грунта, вызванное природными явлениями	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
$I = 5$	Ошибки оператора	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	–
$I = 6$	Прочие и неизвестные причины	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-8}$	–
Итого		$7,5 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$

Пр и м е ч а н и е. «←» означает, что для данной причины разгерметизации возможность образования повреждения с соответствующим размером не рассматривалась.

3.5.5. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в Прил. 4 к настоящему Пособию.

При этом согласно П16 Методики [1] для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров учитываются следующие опасные факторы пожара:

- а) тепловое излучение при струйном (факельном) горении;
- б) тепловое излучение при пожаре пролива.

*Количественная оценка массы горючих веществ,  
поступающих в окружающее пространство в результате  
возникновения пожароопасных ситуаций*

Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникнове-

ния пожароопасных ситуаций проводится на основе анализа следующих физических явлений:

- а) истечение продукта из отверстия в трубопроводе;
- б) растекание продукта по поверхности акватории водной преграды.

*Истечение продукта из отверстия в трубопроводе*

Образование дефектного отверстия является событием, инициирующим развитие аварийной ситуации. После разгерметизации продуктопровода начинается выброс продукта из трубопровода.

Продукт, вылившийся из трубопровода непосредственно на месте аварии, разливается по территории (акватории), прилегающей к месту аварии. Площадь разлива существенным образом зависит от следующих факторов:

- объема вылившегося продукта;
- температуры окружающей среды;
- рельефа местности, где произошел выброс;
- свойств подстилающей поверхности на месте разлива.

Таким образом, основными факторами, определяющими количество опасных веществ, участвующих в аварии при разгерметизации продуктопровода, являются:

- характер и место разрушения;
- порядок обнаружения утечек и остановки работы трубопроводной системы;
- характеристики трубопровода (диаметр труб, профиль трассы, расположение и характеристики крановых узлов, характеристики насосов);
- температура окружающей среды;
- режим перекачки продукта;
- действия аварийно-восстановительных служб по ликвидации аварии.

При определении размеров утечек предполагалось, что работа продуктопровода осуществляется в летнее время (наиболее опасный вариант развития аварии).

Массовый расход  $G_0$  (кг/с) из трубопровода через отверстие в начальный момент времени описывается соотношением (П4.25).

При расчете количества продукта  $M$  (кг), которое может поступить в случае разгерметизации трубопровода в окружающее пространство, учитывается масса вещества, поступающая за время обнаружения утечки и срабатывания отсекающей арматуры, а также содержимое той части трубопровода, которая расположена на более высокой отметке относительно места разгерметизации:

$$M = \rho_{\text{ж}} (V_1 + V_2 + V_3),$$

где  $V_1$  – объем продукта, поступивший в окружающее пространство в напорном режиме, то есть с момента повреждения до остановки перекачки, м<sup>3</sup>;  $V_2$  – объем продукта, поступивший в окружающее пространство в безнапорном режиме, то есть с момента остановки перекачки до закрытия запорной арматуры, м<sup>3</sup>;  $V_3$  – объем продукта, поступивший в окружающее пространство с момента перекрытия запорной арматуры до прекращения утечки, м<sup>3</sup>.

При расчете количества продукта  $M$  (кг), которое может поступить в случае разгерметизации трубопровода в окружающее пространство, также учитывались следующие обстоятельства:

- время срабатывания системы обнаружения утечек составляет 300 с;
- время остановки перекачки и перекрытия береговых задвижек системой телемеханики после срабатывания системы обнаружения утечек или после поступления сведений о выходе продукта в окружающее пространство составляет 10 мин.

Результаты расчетов масс утечек для различных типов повреждений, определенных на основании указанных выше данных, представлены в табл. 3.5.2.

Тот факт, что массы вышедшего в окружающее пространство продукта для типов повреждений «трещина» и «гильотинный разрыв» равны, обусловлен тем обстоятельством, что расчет массового расхода  $G_0$  (кг/с) из трубопровода через отверстие в начальный момент времени проводился с использованием соотношения (П4.25). В этом случае рассчитанная масса утечки для типов повреждения продуктопровода «трещина» и «гильотинный разрыв» с учетом времени срабатывания системы обнаружения утечек и времени остановки перекачки и перекрытия береговых задвижек превышает массу продукта, находящегося в трубопроводе к моменту возникновения аварии между узлами запорной арматуры, вместе с массой продукта, поступившей к месту образования утечки в соответствии с пропускной способностью трубопровода за суммарное время срабатывания системы обнаружения утечек и остановки перекачки и перекрытия береговых задвижек.

Таблица 3.5.2

**Массы вышедшего в окружающее пространство  
дизельного топлива, принятые для расчета зон поражения  
опасными факторами пожара**

Масса вышедшего в окружающее пространство продукта для данного типа повреждения продуктопровода, кг		
«Свищ»	«Трещина»	«Гильотинный разрыв»
359 706	442 992	442 992

*Растекание продукта по поверхности акватории  
водной преграды*

Площадь пролива продукта при разгерметизации/разрушении трубопровода является одним из основных параметров, характеризующих уровень пожарной опасности, поскольку она определяет интенсивность теплового излучения при горении пролива (сценарий «Пожар пролива»).

При проливе жидкости на неограниченную поверхность площадь пролива  $F_{\text{пр}}$  (м<sup>2</sup>) определяется по формуле (П4.27):

$$F_{\text{пр}} = f_p V_{\text{ж}},$$

где  $f_p$  – коэффициент разлития,  $\text{м}^{-1}$ ;  $V_{\text{ж}}$  – объем жидкого продукта, поступившего в окружающее пространство при разгерметизации трубопровода,  $\text{м}^3$ . При разгерметизации продуктопровода и проливе продукта на поверхность акватории водной преграды коэффициент разлития  $f_p$  принят в соответствии с Прил. 4 к настоящему Пособию как для пролива на бетонное или асфальтовое покрытие равным  $f_p = 150 \text{ м}^{-1}$ , поскольку данные для случая растекания продукта по водной поверхности отсутствуют.

Результаты расчетов площади пролива продукта на поверхность акватории водной преграды для различных типов повреждения продуктопровода представлены в табл. 3.5.3.

Равенство площадей пролива для типов повреждения продуктопровода «трещина» и «гильотинный разрыв» обусловлено равенством масс утечек для указанных типов повреждения.

Таблица 3.5.3

**Результаты расчетов площади пролива продукта на поверхность акватории водной преграды для различных типов повреждения продуктопровода**

Площадь пролива, $\text{м}^2$		
«Свищ»	«Трещина»	«Гильотинный разрыв»
65 800	81 035	81 035

*Расчет интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров*

Для расчета длины горячей струи  $L_{\text{ф}}$  (м) в вертикальной плоскости при струйном горении используется зависимость (П4.71):

$$L_{\text{ф}} = K G^{0,4},$$

где  $G$  – расход продукта,  $\text{кг/с}$ ;  $K$  – эмпирический коэффициент, который при истечении ЛВЖ и ГЖ принимается равным  $15,0 \text{ м (с/кг)}^{0,4}$ .

Интенсивность теплового излучения от вертикальных факелов определялась согласно Прил. 4 к настоящему Пособию для расхода продукта в начальный момент времени в зависимости от расчетного давления на участке перехода продуктопровода через водную преграду, которое составляет не более 6,4 МПа.

Результаты расчетов геометрических размеров факелов, принятые для расчета интенсивности теплового излучения от факельного горения, представлены в табл. 3.5.4. Длина факела для типов повреждения продуктопровода «трещина» и «гильотинный разрыв» определялась на основании зависимости (П4.71) для максимальной пропускной способности продуктопровода  $G = 219$  кг/с (6,9 млн т/год), так как расход продукта для указанных типов повреждения, определенный путем использования соотношения (П4.25), превышает данную величину.

Таблица 3.5.4

**Результаты расчетов геометрических размеров факелов, принятые для расчета интенсивности теплового излучения от факельного горения**

«Свищ»		«Трещина»		«Гильотинный разрыв»	
$L_f$	$D_f$	$L_f$	$D_f$	$L_f$	$D_f$
105,3	15,8	130,2	19,5	130,2	19,5

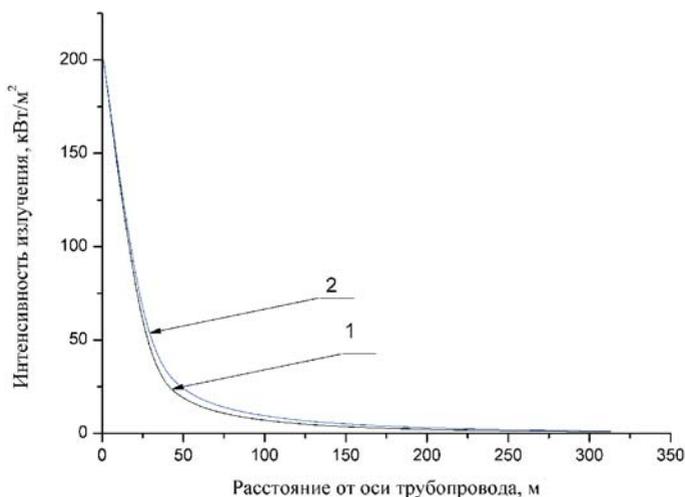
Примечание.  $L_f$  – длина факела, м;  $D_f$  – диаметр факела, м.

Расчеты интенсивности теплового излучения от пожара пролива и факельного горения проводились согласно Прил. 4 к настоящему Пособию.

Ниже на рис. 3.5.2 и 3.5.3 представлены зависимости теплового излучения факельного горения и пожара пролива от расстояния от оси трубопровода для различных типов повреждений рассматриваемого продуктопровода.

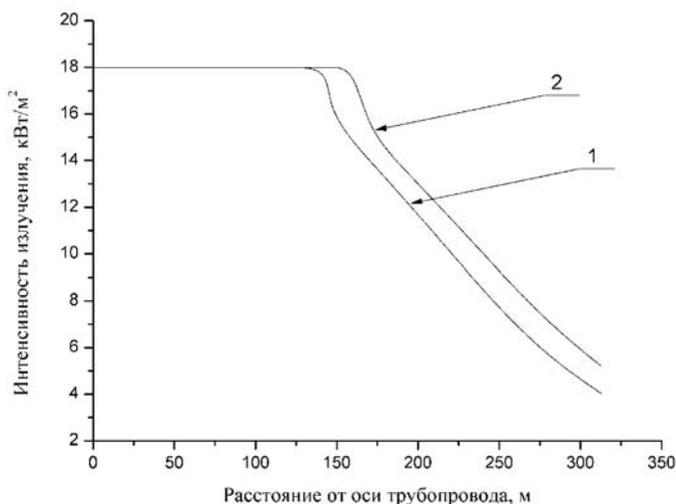
Тот факт, что на расстояниях менее 145 м на зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния от оси трубопровода для типа повреждения продуктопровода

«свищ» и на расстояниях менее 161 м на соответствующих зависимостях для типов повреждения «трещина» и «гильотинный разрыв» интенсивность теплового излучения постоянна и составляет  $18 \text{ кВт/м}^2$ , обусловлен тем обстоятельством что указанные выше величины (145 и 161 м) соответствуют радиусам проливов для данных типов повреждения продуктопровода.



**Рис. 3.5.2. Зависимость интенсивности теплового излучения факельного горения от расстояния от оси трубопровода для различных типов повреждений рассматриваемого продуктопровода:**

**1 – «свищ»; 2 – «трещина», «гильотинный разрыв»**



**Рис. 3.5.3. Зависимость интенсивности теплового излучения пожара пролива от расстояния от оси трубопровода для различных типов повреждений рассматриваемого продуктопровода:**

*1 – «свищ»; 2 – «трещина», «гильотинный разрыв»*

3.5.6. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития осуществляется на основе сопоставления результатов моделирования динамики опасных факторов пожара на территории объекта и прилегающей к нему территории с данными о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара, изложенные в Прил. 6 к настоящему Пособию.

Для пожара пролива и вертикального факела принимаем согласно Прил. 6 к настоящему Пособию, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива или факела, принимается равной 1.

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается формулой (Пб.11).

По результатам расчета полей опасных факторов пожара на основе пробит-функций определяются поля условных вероятностей поражения  $Q_{\text{пор}}(x, r)$  для каждого размера повреждения и сценария аварии ( $x$  – расстояние по оси трубопровода;  $r$  – расстояние от оси трубопровода до данной точки в пространстве, м).

#### 3.5.7. Вычисление расчетных величин пожарного риска.

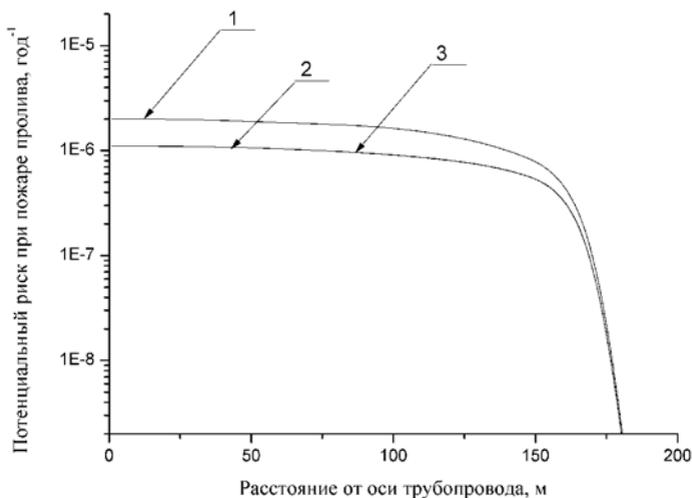
Для рассматриваемого продуктопровода величина потенциального пожарного риска  $P(r)$  год<sup>-1</sup> в определенной точке на расстоянии  $r$  от оси трубопровода определяется по формуле (15).

Для персонала, обслуживающего продуктопровод, индивидуальный пожарный риск рассчитывается исходя из значений потенциального пожарного риска на оси трассы трубопровода и вероятности присутствия персонала, определяемой исходя из времени и периодичности присутствия персонала при осмотре трассы продуктопровода.

Для населения, находящегося в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия людей в зданиях и сооружениях вблизи производственного объекта.

На рис. 3.5.4 и 3.5.5 представлены зависимости потенциального риска от расстояния от оси трубопровода для пожара пролива и факельного горения для различных типов повреждений рассматриваемого продуктопровода

На рис. 3.5.6 представлены зависимости потенциального пожарного риска от расстояния от оси магистрального продуктопровода на участке его подводного перехода через водную преграду для всех рассматриваемых типов повреждения продуктопровода.



**Рис. 3.5.4. Зависимость потенциального пожарного риска пожара пролива от расстояния от оси трубопровода для различных типов повреждений рассматриваемого продуктопровода:**

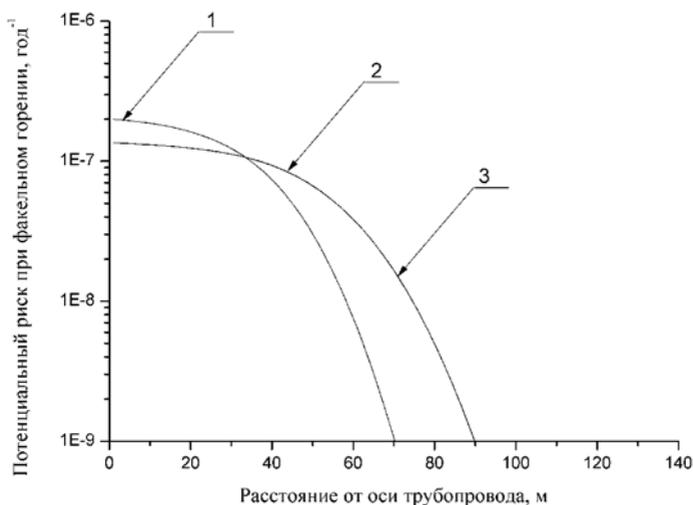
*1 – «свищ»; 2 – «трещина»; 3 – «гильотинный разрыв»*

Индивидуальный пожарный риск для персонала продуктопровода составляет не более максимального значения потенциального пожарного риска на оси трассы продуктопровода, которое равно  $R_m = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .

Индивидуальный пожарный риск для населения в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта составляет менее  $R_m = 10^{-8} \cdot \text{год}^{-1}$  на основании данных, представленных на рис. 3.5.4 (потенциальный пожарный риск в месте расположения ближайшей к месту подводного перехода продуктопровода через водную преграду жилой застройки составляет менее  $10^{-8} \cdot \text{год}^{-1}$ ).

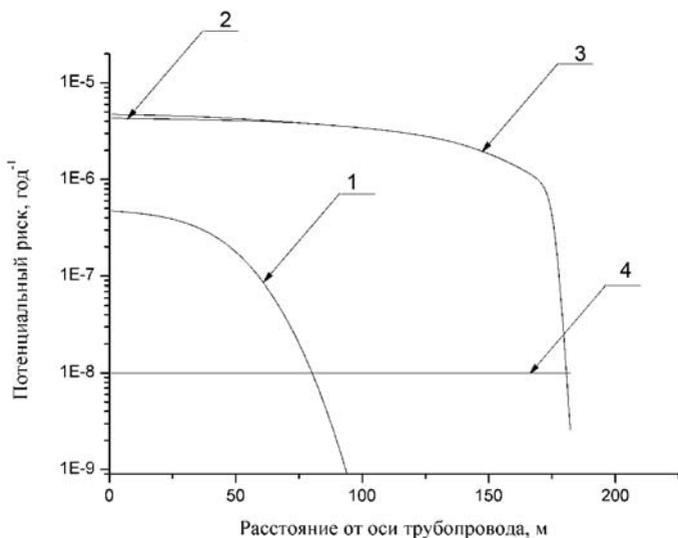
Поскольку поля опасных факторов пожара не достигают расположенной рядом с рассматриваемым объектом жилой застройки (см. рис. 3.5.2 и 3.5.3), то социальный пожарный риск от рассматриваемого объекта для населения в указанной жилой застройке является нормативным.

Сравнение полученных значений индивидуального и социального пожарного риска с нормативными значениями, регламентированными [3] показывает, что указанные значения пожарного риска для рассматриваемого объекта не превышают нормативные значения. Нормативное значение индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта составляет  $R_m^H = 10^{-4} \cdot \text{год}^{-1}$ , так как указанный объект относится к объектам, перечисленным в Разд. 1.5 настоящего Пособия, для которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов.



**Рис. 3.5.5. Зависимость потенциального пожарного риска факельного горения от расстояния от оси трубопровода для различных типов повреждений рассматриваемого продуктопровода:**

*1 – «свищ»; 2 – «трещина»; 3 – «гильотинный разрыв»*



**Рис. 3.5.6. Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния от оси трубопровода и вклад  $k$ -го сценария аварии в величину суммарного потенциального пожарного риска на участке перехода рассматриваемого продуктопровода через водную преграду:**

- 1* – факельное горение; *2* – пожар пролива;
- 3* – суммарный потенциальный пожарный риск;
- 4* – предельное допустимое значение индивидуального пожарного риска для населения, регламентированное [3]

### **3.6. Пример расчета для случая применения установки локального пожаротушения**

На настоящем примере показан расчет обусловленных возможными пожарами в производственном здании (индивидуальное укрытие ангарного типа с размещением газоперекачивающего агрегата) величин индивидуального риска, выполненный по Методике [1], в случае применения в указанном здании установки локального пожаротушения технологической единицы (газоперекачивающего агрегата).

### 3.6.1. Описание объекта.

В качестве производственного здания с размещением технологической единицы, оснащенной установкой локального пожаротушения, рассматривается индивидуальное укрытие ангарного типа с размещением газоперекачивающего агрегата (ГПА).

Укрытие предназначено для размещения в нем основных узлов и систем газоперекачивающего агрегата.

Размеры укрытия в осях составляют 14,0 x 32,0 м. Высота укрытия составляет 17,0 м.

Газоперекачивающий агрегат представляет собой одноступенчатый центробежный компрессор. В качестве привода применяется газовая турбина.

Газовая турбина и центробежный компрессор находятся в индивидуальных кожухах (укрытиях) и оборудованы системами автоматического пожаротушения углекислым газом, а так же системами обнаружения пожара, контроля загазованности и оповещения о пожаре. Основные технические характеристики газоперекачивающего агрегата представлены в табл. 3.6.1.

Длина маслопровода системы смазки турбоблока газоперекачивающего агрегата составляет 20 м, диаметр – 0,05 м.

Длина подводящего трубопровода компрессора газоперекачивающего агрегата составляет 14,5 м, диаметр – 1 м.

Длина отводящего трубопровода компрессора газоперекачивающего агрегата составляет 4 м, диаметр – 1 м.

Длина трубопровода топливного газа турбины газоперекачивающего агрегата составляет 0,46 м, диаметр – 0,1 м.

Длина маслопровода системы смазки компрессора газоперекачивающего агрегата составляет 20 м, диаметр – 0,05 м.

Условная вероятность эффективного срабатывания АУПТ газоперекачивающего агрегата составляет 0,8.

**Основные технические характеристики  
газоперекачивающего агрегата**

Параметр	Рабочие параметры	Параметры технологического процесса
Мощность, МВт	32	
Производительность, кг/ч	921 361	
Давление, бар (изб.)	100	85,5
Температура, °С	-48 ÷ 160	37 ÷ 98

Основные технические характеристики здания приведены ниже.

Степень огнестойкости	V.
Класс функциональной пожарной опасности	Ф5.
Класс конструктивной пожарной опасности	С0.
Категория по взрывопожарной и пожарной опасности	A.
Площадь	448,0 м <sup>2</sup> .

В табл. 3.6.2 приведена экспликация помещений рассматриваемого здания-укрытия с размещением газоперекачивающего агрегата.

Таблица 3.6.2

**Экспликация помещений здания укрытия  
с размещением газоперекачивающего агрегата**

Номер помещения	Наименование помещения	Площадь, м <sup>2</sup>
1	Помещение компрессора	445,2

3.6.2. Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации.

*Физико-химические свойства обращающихся на объекте  
горючих веществ и материалов*

Свойства природного газа принимались согласно данным, приведенным в Прил. 1 настоящего Пособия для метана. Свойства компрессорного масла принимались в соответствии с [7]: горючая вязкая жидкость, температурные пределы

распространения пламени: нижний – 200 °С, верхний – 247 °С.

*Статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций*

В качестве частот реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для компрессоров и трубопроводов горючих газов и горючих жидкостей, обращающихся на рассматриваемом объекте, были использованы данные, представленные в Прил. 2 к настоящему Пособию (данные по частотам утечек из технологических трубопроводов, представленные в Табл. П2.2).

В качестве условных вероятностей мгновенного воспламенения и условных вероятности последующего воспламенения при отсутствии мгновенного (воспламенение с задержкой) в зависимости от размера утечки были использованы данные, представленные в Прил. 3 к настоящему Пособию (табл. П3.1).

3.6.3. Анализ пожарной опасности рассматриваемого объекта.

*Определение перечня пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития*

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров на рассматриваемом объекте был использован метод логических деревьев событий.

Построение логического дерева событий, лежащего в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого объекта, осуществлялось исходя из следующих консервативных предпосылок:

1. Принято, что при разгерметизации трубопроводов горючих жидкостей (маслопровод газовой турбины и маслопровод центробежного компрессора) воспламенение утечек горючих жидкостей (компрессорного масла), поступивших в пространство под кожухами газовой турбины и центробежного компрессора соответственно, происходит исключи-

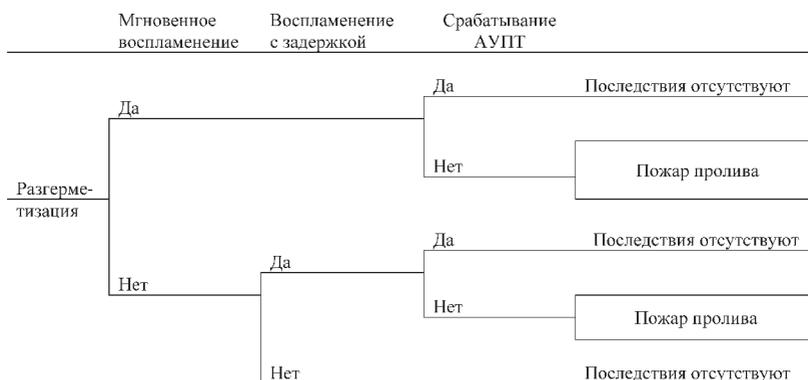
тельно в результате воздействия источников зажигания, возникающих под указанными кожухами. Это обусловлено тем обстоятельством, что постоянно действующие источники зажигания имеют место только под указанными кожухами.

2. В силу того, что температура вспышки компрессорного масла превышает температуру воздуха в рассматриваемом здании, возможность реализации взрыва горючей смеси паров компрессорного масла с воздухом не рассматривалась.

Типовое логическое дерево событий развития аварий, связанных с разгерметизацией трубопроводов горючих жидкостей и поступлением указанных жидкостей в объем помещения показано на рис. 3.6.1.

На рис. 3.6.1, 3.6.2 представлены деревья событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций и пожаров, на основе которых проводились расчеты по оценке пожарного риска для рассматриваемого объекта.

Дерево событий, представленное на рис. 3.6.1, характеризует пожароопасную ситуацию, связанную с разгерметизацией маслопровода газовой турбины (турбоблока газоперекачивающего агрегата) и маслопровода центробежного компрессора.



**Рис. 3.6.1. Дерево событий для сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с разгерметизацией технологического оборудования и поступлением горючих жидкостей в объем помещения**



**Рис. 3.6.2. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с разгерметизацией технологического оборудования с горючими газами, а также подводящих/отводящих к оборудованию трубопроводов в помещении**

В табл. 3.6.3 приведен перечень возможных пожароопасных ситуаций и сценариев их развития, рассматриваемых при оценке пожарного риска для рассматриваемого объекта.

*Таблица 3.6.3*

***Перечень возможных пожароопасных ситуаций и сценариев их развития, рассматриваемых при оценке пожарного риска***

№ пожароопасной ситуации/пожара	Наименование разгерметизировавшегося оборудования	Основные сценарии развития пожароопасных ситуаций
1	Центробежный компрессор	Факельное горение, взрыв газовоздушного облака
2	Подводящий трубопровод центробежного компрессора	Факельное горение, взрыв газовоздушного облака
3	Отводящий трубопровод центробежного компрессора	Факельное горение, взрыв газовоздушного облака
4	Маслопровод газоперекачивающего агрегата	Пожар пролива
5	Трубопровод топливного газа турбины ГПА	Факельное горение, взрыв газовоздушного облака
6	Маслопровод под кожухом компрессора	Пожар пролива

Ниже приведены примеры расчета интенсивностей истечения горючего газа и горючей жидкости при разгерметизации технологического оборудования. Данные по указанным интенсивностям необходимы для определения условных вероятностей реализации тех или иных ветвей деревьев событий, представленных на рис. 3.6.1 и 3.6.2.

Массовый расход истечения природного газа (метана) при разгерметизации центробежного компрессора (пожароопасная ситуаций № 1) для диаметра утечки 5 мм определяется следующим образом:

в соответствии с формулой (П4.13)  $\frac{P_a}{P_v} < \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)}$  ис-

течение сверхкритическое, следовательно, в соответствии с формулой (П4.14):

$$G = A_{hol} \mu \left[ P_v \rho_v \gamma \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2} = 0,2 \text{ кг/с},$$

где  $P_a = 0,1 \cdot 10^6$  Па – атмосферное давление;  $P_v = 8,55 \cdot 10^6$  Па – давление природного газа в трубопроводе;  $\gamma = 1,3$  – показатель адиабаты метана (принимается равной как для трехатомного газа);  $A_{hol} = 1,96 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup> – площадь отверстия для диаметра утечки 5 мм;  $\mu = 0,8$  – коэффициент истечения;  $\rho_v = 60,8$  кг/м<sup>3</sup> – плотность метана при давлении  $P_v$ .

Массовые расходы истечения природного газа для остальных пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования с природным газом, и диаметров утечек определяются аналогично.

Массовый расход истечения горючей жидкости (компрессорного масла) при разгерметизации маслопровода газоперекачивающего агрегата (пожароопасная ситуация № 4) для диаметра утечки 12,5 мм определяется по формуле (П4.25):

$$G_L = \mu A_{hol} \sqrt{2 \rho_L \Delta P_R} = 2,9 \text{ кг/с},$$

где  $\mu = 0,8$  – коэффициент истечения;  $A_{hol} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – площадь отверстия;  $\Delta P_R = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$  – избыточное давление;  $\rho_L = 873 \text{ кг/м}^3$  – плотность горючей жидкости (компрессорного масла).

Массовые расходы истечения компрессорного масла для пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией трубопроводов с компрессорным маслом, и диаметров утечек определяются аналогично.

Данные по условным вероятностям реализации пожароопасных ситуаций при разгерметизации технологического оборудования приведены в табл. 3.6.4. Указанные данные получены на основании данных, представленных в табл. П3.1, и результатов определения интенсивностей истечения горючих газов и жидкостей при разгерметизации технологического оборудования.

Частоты разгерметизации технологических трубопроводов получены путем перемножения частоты утечек (см. табл. П2.2) на длину соответствующего трубопровода, находящегося в рассматриваемом здании.

Согласно логическому дереву событий, приведенному на рис. 3.6.1, частота реализации пожара пролива при мгновенном воспламенении будет равна:

$$Q_{\text{пр12,5}} = Q_{\text{разг12,5}} Q_{\text{мгн12,5}} (1 - A_{\text{АУПТ}}) = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1},$$

где  $Q_{\text{разг12,5}} = 20 \cdot 5,7 \cdot 10^{-6} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ ;  $Q_{\text{мгн5}} = 0,015$  (табл. 3.6.4);  $Q_{\text{АУПТ}} = 0,8$ .

Частоты реализации пожара пролива для остальных диаметров истечения определялись аналогично.

Согласно логическому дереву событий, приведенному на рис. 3.6.2, частота реализации взрыва газовоздушного облака для диаметра истечения 5 мм будет равна:

$$Q_{\text{вз5}} = Q_{\text{разг5}} (1 - Q_{\text{мгн5}}) Q_{\text{посл5}} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1},$$

где  $Q_{\text{разг5}} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$  (табл. П2.2);  $Q_{\text{мгн5}} = 0,005$  (табл. 3.6.4);  $Q_{\text{посл5}} = 0,005$  (табл. 3.6.4).

Таблица 3.6.4

**Условные вероятности реализации пожароопасных ситуаций и пожаров при разгерметизации технологического оборудования**

№ пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения), мм	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Условная вероятность мгновенного воспламенения	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения
1	5,0	0,2	0,005	0,005
	12,5	1,5	0,035	0,036
	25,0	5,9	0,035	0,036
	50,0	23,9	0,035	0,036
2	Полное разрушение	Не определено	0,200	0,240
	12,5	1,1	0,035	0,036
	25,0	4,4	0,035	0,036
	50,0	17,6	0,035	0,036
	100,0	70,6	0,150	0,176
3	Полное разрушение	Не определено	0,200	0,240
	12,5	1,2	0,035	0,036
	25,0	4,6	0,035	0,036
	50,0	18,5	0,035	0,036
	100,0	73,8	0,150	0,176
	Полное разрушение	Не определено	0,200	0,240

№ пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Условная вероятность воспламенения	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения
4	12,5	2,9	0,015	0,015
	25	11,6	0,015	0,015
	Полное разрушение	Не определено	0,050	0,061
5	12,5	0,6	0,005	0,005
	25,0	2,5	0,035	0,036
	50,0	9,8	0,035	0,036
6	Полное разрушение	Не определено	0,200	0,240
	12,5	2,9	0,015	0,015
	25,0	11,6	0,015	0,015
	Полное разрушение	Не определено	0,050	0,061

Частоты реализации взрыва газоздушного облака для остальных диаметров истечения определяются аналогично.

Согласно логическому дереву событий, приведенному на рис. 3.6.2, частота реализации факельного горения для диаметра истечения 5 мм будет равна:

$$Q_{\text{ф5}} = Q_{\text{разг5}} Q_{\text{мгн5}} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1},$$

где  $Q_{\text{разг5}} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$  (табл. П2.2);  $Q_{\text{мгн5}} = 0,005$  (табл. 3.6.4).

Частоты реализации факельного горения для остальных диаметров истечения определяются аналогично.

В табл. 3.6.5 приведены частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров при разгерметизации технологического оборудования, определенные на основании данных, представленных в табл. 3.6.4, с учетом данных по частотам разгерметизации различных типов технологического оборудования, представленных в Прил. 2 к настоящему Пособию.

**Таблица 3.6.5**  
**Частоты реализации рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров при разгерметизации технологического оборудования**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации/пожара, год <sup>-1</sup>	Частоты реализации сценариев развития пожароопасной ситуации/пожара, год <sup>-1</sup>	
			Пожар пролива	Взрыв газозвудушного облака
1	5,0	$1,1 \cdot 10^{-2}$	–	$5,5 \cdot 10^{-5}$
	12,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$	–	$4,5 \cdot 10^{-5}$
	25,0	$3,9 \cdot 10^{-4}$	–	$1,4 \cdot 10^{-5}$
	50,0	$1,3 \cdot 10^{-4}$	–	$4,5 \cdot 10^{-6}$
2	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4}$	–	$1,9 \cdot 10^{-5}$
	12,5	$4,5 \cdot 10^{-6}$	–	$2,2 \cdot 10^{-8}$
	25,0	$1,9 \cdot 10^{-6}$	–	$6,6 \cdot 10^{-8}$
	50,0	$7,5 \cdot 10^{-7}$	–	$2,6 \cdot 10^{-8}$
3	100,0	$3,2 \cdot 10^{-7}$	–	$4,8 \cdot 10^{-8}$
	Полное разрушение	$6,1 \cdot 10^{-8}$	–	$1,2 \cdot 10^{-8}$
	12,5	$1,2 \cdot 10^{-6}$	–	$6,0 \cdot 10^{-9}$
	25,0	$5,2 \cdot 10^{-7}$	–	$1,8 \cdot 10^{-8}$
4	50,0	$2,1 \cdot 10^{-7}$	–	$7,3 \cdot 10^{-9}$
	100,0	$8,8 \cdot 10^{-8}$	–	$1,3 \cdot 10^{-8}$
	Полное разрушение	$1,7 \cdot 10^{-8}$	–	$3,3 \cdot 10^{-9}$
	12,5	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	–
4	25,0	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	–
	Полное разрушение	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-7}$	–

Окончание табл. 3.6.5

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации/пожара, год <sup>-1</sup>	Частоты реализации сценариев развития пожароопасной ситуации/пожара, год <sup>-1</sup>		
			Пожар пролива	Взрыв газовоздушного облака	Факельное горение
5	12,5	$6,2 \cdot 10^{-6}$	–	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$
	25,0	$2,6 \cdot 10^{-6}$	–	$9,0 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$
	50,0	$1,0 \cdot 10^{-6}$	–	$3,5 \cdot 10^{-8}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$
6	Полное разрушение	$8,4 \cdot 10^{-8}$	–	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
	12,5	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	–	–
	25,0	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	–	–
	Полное разрушение	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-7}$	–	–

Примечание: знак «–» в ячейках столбцов частот реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций/пожаров означает, что данный сценарий не рассматривался для соответствующих указанным ячейкам пожароопасных ситуаций/пожаров.

3.6.4. Результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании.

*Сценарий № 1.1.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация центробежного компрессора. Происходит мгновенное воспламенение природного газа с образованием факельного горения.

Принимаем с определенным запасом надежности, что пожар, возникший в помещении компрессора при разгерметизации центробежного компрессора с образованием факельного горения, для различных диаметров истечения приводит к гибели всех находящихся в указанном помещении людей. Таким образом, условная вероятность поражения человека при его нахождении в рассматриваемом помещении при реализации факельного горения в рамках рассматриваемого сценария пожара составляет  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации факельного горения для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.6 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

Таблица 3.6.6

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации центробежного компрессора с реализацией факельного горения**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
5,0	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$
12,5	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$
25,0	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
50,0	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$
Полное разрушение	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ .

*Сценарий № 1.2.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация центробежного компрессора. Происходит образование и последующее воспламенение горючего газозвдушного облака с образованием избыточного давления.

Согласно Прил. 5 к настоящему Пособию, при рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газозвдушной смеси в помещениях категории А, условная вероятность поражения человека  $Q_{dji}$  в этом помещении принимается равной  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации взрыва газозвдушного облака для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.7 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

Таблица 3.6.7

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации центробежного компрессора с образованием и последующим воспламенением горючего газозвдушного облака**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
5,0	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$
12,5	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$
25,0	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
50,0	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Полное разрушение	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ .

*Сценарий № 2.1.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация подводящего трубопровода центробежного компрессора. Происходит мгновенное воспламенение с образованием факельного горения.

Принимаем с определенным запасом надежности, что пожар, возникший в помещении компрессора при разгерметизации подводящего трубопровода центробежного компрессора с образованием факельного горения для различных диаметров истечения приводит к гибели всех находящихся в указанном помещении людей. Таким образом, условная вероятность поражения человека при его нахождении в рассматриваемом помещении при реализации факельного горения в рамках рассматриваемого сценария пожара составляет  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации факельного горения для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.8 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

*Таблица 3.6.8*

***Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации подводящего трубопровода центробежного компрессора с реализацией факельного горения***

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$
25,0	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-8}$
50,0	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
100,0	$4,8 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{-8}$
Полное разрушение	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $1,8 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

*Сценарий № 2.2.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация подводящего трубопровода центробежного компрессора. Происходит образование и последующее воспламенение горючего газозвдушного облака с образованием избыточного давления.

Согласно Прил. 5 к настоящему пособию при рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газозвдушной смеси в помещении категории А, условная вероятность поражения человека  $Q_{dji}$  в этом помещении принимается равной  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации взрыва газозвдушного облака для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.9 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

*Таблица 3.6.9*

***Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации подводящего трубопровода центробежного компрессора с образованием и последующим воспламенением горючего газозвдушного облака***

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
25,0	$6,6 \cdot 10^{-8}$	$6,6 \cdot 10^{-8}$
50,0	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
100,0	$4,8 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{-8}$
Полное разрушение	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $1,7 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

*Сценарий № 3.1.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация отводящего трубо-

провода центробежного компрессора. Происходит мгновенное воспламенение с образованием факельного горения.

Принимаем с определенным запасом надежности, что пожар, возникший в помещении компрессора при разгерметизации отводящего трубопровода центробежного компрессора с образованием факельного горения для различных диаметров истечения, приводит к гибели всех находящихся в указанном помещении людей. Таким образом, условная вероятность поражения человека при его нахождении в рассматриваемом помещении при реализации факельного горения в рамках рассматриваемого сценария пожара составляет  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации факельного горения для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.10 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

Таблица 3.6.10

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации отводящего трубопровода центробежного компрессора с реализацией факельного горения**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$6,0 \cdot 10^{-9}$
25,0	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
50,0	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$
100,0	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Полное разрушение	$3,4 \cdot 10^{-9}$	$3,4 \cdot 10^{-9}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $4,8 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>.

Сценарий № 3.2. Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация отводящего трубопровода центробежного компрессора. Происходит образование и последующее воспламенение горючего газозвдушного облака с образованием избыточного давления.

Согласно Прил. 5 к настоящему Пособию, при рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газозвдушной смеси в помещении категории А, условная вероятность поражения человека  $Q_{dji}$  в этом помещении принимается равной  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации взрыва газозвдушного облака для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.11 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

Таблица 3.6.11

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации отводящего трубопровода центробежного компрессора с образованием и последующим воспламенением горючего газозвдушного облака**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$6,0 \cdot 10^{-9}$
25,0	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
50,0	$7,3 \cdot 10^{-9}$	$7,3 \cdot 10^{-9}$
100,0	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Полное разрушение	$3,3 \cdot 10^{-9}$	$3,3 \cdot 10^{-9}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $4,8 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>.

*Сценарий № 4.1.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация маслопровода турбоблока газоперекачивающего агрегата и мгновенное воспламенение пролива компрессорного масла по всей площади помещения (консервативная оценка).

Рассмотрение данного сценария развития пожара проводилось на основе дерева событий, представленного на рис. 3.6.1. При построении указанного выше дерева событий принято, что пожар пролива компрессорного масла при разгерметизации маслопровода турбоблока газоперекачивающего агрегата реализуется только в случае неэффективной работы (отказа) штатной системы автоматического пожаротушения газоперекачивающего агрегата. Также принято, что источник зажигания утечки компрессорного масла может возникнуть исключительно под кожухом турбоблока ГПА. Это обусловлено тем, что постоянно действующие источники зажигания имеют место исключительно под кожухом турбоблока ГПА (в частности, электродвигатель). При возникновении воспламенения утечки компрессорного масла под кожухом турбоблока ГПА происходит прогар указанного кожуха с реализацией пожара пролива по всей площади помещения.

Согласно Прил. 6 к настоящему Пособию условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива, принимается равной  $Q_{dij} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации пожара пролива компрессорного масла для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.12 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при реализации рассматриваемого сценария пожара.

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации маслопровода турбоблока газоперекачиваемого агрегата и мгновенном воспламенении пролива компрессорного масла по всей площади помещения**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$
25,0	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
Полное разрушение	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $7,5 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

*Сценарий № 4.2.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация маслопровода турбоблока газоперекачивающего агрегата и воспламенение с задержкой пролива компрессорного масла по всей площади помещения (консервативная оценка).

Рассмотрение данного сценария развития пожара проводилось на основе дерева событий, представленного на рис. 3.6.1. При построении указанного выше дерева событий принято, что пожар пролива компрессорного масла при разгерметизации маслопровода турбоблока газоперекачивающего агрегата реализуется только в случае неэффективной работы (отказа) штатной системы автоматического пожаротушения газоперекачивающего агрегата. Также принято, что источник зажигания утечки компрессорного масла может возникнуть исключительно под кожухом турбоблока ГПА. Это обусловлено тем, что постоянно действующие источники зажигания имеют место исключительно под кожухом турбоблока ГПА (в частности, электродвигатель). При возникновении воспламенения утечки компрессорного масла под кожухом турбоблока ГПА происходит прогар указанного кожуха с реализацией пожара пролива по всей площади помещения.

Согласно Прил. 6 к настоящему Пособию условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива, принимается равной  $Q_{dij} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации пожара пролива компрессорного масла для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.13 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при реализации рассматриваемого сценария пожара.

Таблица 3.6.13

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации маслопровода турбоблока газоперекачиваемого агрегата и воспламенении с задержкой пролива компрессорного масла по всей площади помещения**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$
25,0	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
Полное разрушение	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $8,0 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

*Сценарий № 5.1.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация трубопровода топливного газа турбины ГПА. Происходит мгновенное воспламенение с образованием факельного горения.

Принимаем с определенным запасом надежности, что пожар, возникший в помещении компрессора при разгерметизации трубопровода топливного газа турбины ГПА с образованием факельного горения, для различных диаметров истечения, приводит к гибели всех находящихся в указанном помещении людей. Таким образом, условная вероятность

поражения человека при его нахождении в рассматриваемом помещении при реализации факельного горения в рамках рассматриваемого сценария пожара составляет  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации факельного горения для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.14 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

Таблица 3.6.14

**Результаты определения потенциального пожарного риска  
в помещении компрессора при разгерметизации  
трубопровода топливного газа турбины ГПА  
с реализацией факельного горения**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$
25,0	$9,1 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$
50,0	$3,5 \cdot 10^{-8}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$
Полное разрушение	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $1,7 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

*Сценарий № 5.2.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация трубопровода топливного газа турбины ГПА. Происходит образование и последующее воспламенение горючего газозвоздушного облака с образованием избыточного давления.

Согласно Прил. 5 к настоящему Пособию, при рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газозвоздушной смеси в помещении категории А, условная вероятность поражения человека  $Q_{dji}$  в этом помещении принимается равной  $Q_{dji} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации взрыва газозвдушного облака для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.15 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара.

Таблица 3.6.15

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации трубопровода топливного газа турбины ГПА с образованием и последующим воспламенением горючего газозвдушного облака**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$
25,0	$9,0 \cdot 10^{-8}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$
50,0	$3,5 \cdot 10^{-8}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$
Полное разрушение	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $1,7 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

*Сценарий № 6.1.* Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация маслопровода под кожухом компрессора и мгновенное воспламенение пролива компрессорного масла по всей площади помещения (консервативная оценка).

Рассмотрение данного сценария развития пожара проводилось на основе дерева событий, представленного на рис. 3.6.1. При построении указанного выше дерева событий принято, что пожар пролива компрессорного масла при разгерметизации маслопровода под кожухом компрессора реализуется только в случае неэффективной работы (отказа) штатной системы автоматического пожаротушения газоперекачивающе-

го агрегата. Также принято, что источник зажигания утечки компрессорного масла может возникнуть исключительно под кожухом компрессора. При возникновении воспламенения утечки компрессорного масла под кожухом компрессора происходит прогар указанного кожуха с реализацией пожара пролива по всей площади помещения.

Согласно Прил. 6 к настоящему пособию условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива, принимается равной  $Q_{dij} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации пожара пролива компрессорного масла для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.15 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при реализации рассматриваемого сценария пожара.

Таблица 3.6.16

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации маслопровода под кожухом компрессора и мгновенном воспламенении пролива компрессорного масла по всей площади помещения**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$
25,0	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
Полное разрушение	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $7,5 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

**Сценарий № 6.2.** Очаг пожара возникает в помещении компрессора. Происходит разгерметизация маслопровода под кожухом компрессора и воспламенение с задержкой пролива компрессорного масла по всей площади помещения (консервативная оценка).

Рассмотрение данного сценария развития пожара проводилось на основе дерева событий, представленного на рис. 3.6.1. При построении указанного выше дерева событий принято, что пожар пролива компрессорного масла при разгерметизации маслопровода под кожухом компрессора реализуется только в случае неэффективной работы (отказа) штатной системы автоматического пожаротушения газоперекачивающего агрегата. Также принято, что источник зажигания утечки компрессорного масла может возникнуть исключительно под кожухом компрессора. При возникновении воспламенения утечки компрессорного масла под кожухом компрессора происходит прогар указанного кожуха с реализацией пожара пролива по всей площади помещения.

Согласно Прил. 6 к настоящему пособию условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива, принимается равной  $Q_{dij} = 1$ .

Таким образом, потенциальный пожарный риск для рассматриваемого помещения при реализации данного сценария пожара составляет  $P_{ij} = Q_j Q_{dij} = Q_j$ , где  $Q_j$  – частота реализации пожара пролива компрессорного масла для данного диаметра истечения. В табл. 3.6.17 представлены результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при реализации рассматриваемого сценария пожара.

Таблица 3.6.17

**Результаты определения потенциального пожарного риска в помещении компрессора при разгерметизации маслопровода под кожухом компрессора и воспламенении с задержкой пролива компрессорного масла по всей площади помещения**

Диаметр отверстия истечения, мм	Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>	Вклад в потенциальный риск в рассматриваемом помещении, год <sup>-1</sup>
12,5	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$
25,0	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
Полное разрушение	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, суммарный вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от реализации данного сценария пожара составляет  $8,0 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

Суммарный потенциальный пожарный риск для помещения компрессора от всех рассмотренных выше сценариев пожара составляет  $P_{ij\Sigma} = 2,8 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.

3.6.5. Результаты определения индивидуального пожарного риска для рассматриваемого здания.

Для всех работников рассматриваемого объекта используется график работы, предусматривающий 12-часовой рабочий день в течение 7 дней в неделю в режиме «месяц через месяц».

В табл. 3.6.18 приведены данные, характеризующие график работы персонала рассматриваемого объекта.

Таблица 3.6.18

*Данные, характеризующие график работы персонала рассматриваемого объекта*

Наименование помещения	Время пребывания в дневную смену, ч	Количество человек в дневную смену	Время пребывания в ночную смену, ч	Количество человек в ночную смену
Помещение компрессора	1,5	6	0,4	2

В табл. 3.6.19 приведены данные по доле времени пребывания в течение года персонала рассматриваемого объекта, работающего в дневную смену, на объекте.

Для персонала, работающего в дневную смену, доля времени пребывания в течение года будет определяться исходя из следующих данных:

- $N_{\text{год}} = 365$  – количество дней в году;
- $N_{\text{час-год}} = N_{\text{год}} \cdot 24 = 8760$  ч/год;

Исходя из графика работы, предусматривающего 12-часовой рабочий день в течение 7 дней в неделю в режиме «месяц через месяц», и времени пребывания персонала в помещении компрессора, количество часов пребывания персонала в помещении компрессора в год будет равно  $N_{\text{раб.год}} = 274$  ч.

Доля времени пребывания персонала в течение года: .

$$D_{\text{год}} = \frac{N_{\text{год.раб}}}{N_{\text{час.год}}} = 0,03.$$

Таблица 3.6.19

**Доля времени пребывания в течение года персонала рассматриваемого объекта, работающего в дневную смену, на объекте**

Наименование помещения	Количество человек	Годовой лимит пребывания в часах	Доля времени пребывания в течение года
Помещение компрессора	6	274	0,03

В табл. 3.6.20 приведены результаты определения индивидуального пожарного риска для работников рассматриваемого объекта. Индивидуальный пожарный риск для работников рассматриваемого объекта определялся с запасом надежности как для персонала, работающего в дневную смену (время пребывания персонала на объекте в дневную смену превышает соответствующее время пребывания в ночную смену).

Таблица 3.6.20

**Индивидуальный пожарный риск для работников рассматриваемого объекта**

Категория персонала	Название помещения, позиция	Потенциальный пожарный риск в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Индивидуальный пожарный риск, год <sup>-1</sup>
Работник здания укрытия	Помещение компрессора	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$

3.6.6. Вывод об условиях соответствия рассматриваемого здания требованиям пожарной безопасности.

Индивидуальный пожарный риск не превышает нормативное значение, так как выполняется условие  $R_m^{\text{max}} = 8,9 \cdot 10^{-6} \leq R_m^{\text{n}} = 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ . Нормативное значение индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта

составляет  $R_m^n = 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>, так как указанный объект относится к объектам, перечисленным в Разд. 1.5 настоящего Пособия, для которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов.

### **3.7. Пример расчета для производственного объекта инфраструктуры железнодорожного транспорта (сливо-наливной эстакады)**

На настоящем примере показан расчет обусловленных возможными пожарами на производственном объекте инфраструктуры железнодорожного транспорта (эстакада налива светлых нефтепродуктов) величин индивидуального риска, выполненный по Методике [1].

#### **3.7.1. Описание объекта.**

В качестве производственного объекта инфраструктуры железнодорожного транспорта в настоящем примере рассматривается эстакада налива светлых нефтепродуктов (бензин и дизельное топливо), расположенная на территории нефтебазы.

Рассматриваемая эстакада предназначена для отгрузки нефтепродуктов в железнодорожные вагоны-цистерны. На эстакаде предусмотрена двухпутная автоматизированная установка тактового налива (АУТН) с установкой рекуперации паров углеводородов (УРУ).

АУТН предназначена для автоматического герметизированного налива светлых нефтепродуктов на двух загрузочных железнодорожных путях в 4-осные железнодорожные вагоны-цистерны. На каждом загрузочном пути можно одновременно загружать две 4-осных вагона-цистерны одним или различными видами продукта.

АУТН обеспечивает следующие характеристики загрузки железнодорожных вагонов-цистерн продуктом:

- время налива одной железнодорожной вагона-цистерны емкостью 60 м<sup>3</sup> составляет 8,1 мин;

- одновременно под загрузкой продуктом находятся 4 вагона-цистерны.

В состав рассматриваемого объекта входят:

- установка тактового налива, представляющая собой сооружение в виде металлоконструкции с навесом над двумя железнодорожными путями (длина составляет 70 м), на которой установлены узлы наливной механики, устройства верхнего налива с отводом паров, коллектора подачи бензинов и дизельных топлив к наливным устройствам;

- автоматизированная система коммерческого учета отгружаемых нефтепродуктов;

- автоматическая система отбора проб наливаемого продукта;

- установка рециркуляции паров со сбросной свечой;

- система аварийного опорожнения вагонов-цистерн с самовсасывающими винтовыми ротационными насосами производительностью по 120 м<sup>3</sup>/ч каждый (два на площадке АУТН, один в прирельсовой насосной);

- закрытая дренажная система;

- вагонные весы для статического взвешивания;

- маневровое устройство (по одному на каждом пути);

- производственное здание, предназначенное для размещения технологического оборудования (весовой, электропитания и управления и т. д.);

- системы автоматического пожаротушения и сигнализации.

Нефтепродукты поступают на эстакаду из резервуаров хранения самотеком по трубопроводам с других площадок нефтебазы. Светлые нефтепродукты, отгружаемые в железнодорожные вагоны-цистерны на рассматриваемой эстакаде, представляют собой бензины и дизельные топлива различных марок.

Массовый расход продукта по трубопроводу налива составляет  $Q = 2520 \text{ м}^3/\text{ч} = 525 \text{ кг/с}$ . Высота столба жидкости для поступления нефтепродуктов на эстакаду из резервуаров хранения самотеком составляет  $H = 90 \text{ м}$ .

Максимальное избыточное давление в технологическом оборудовании УРУ составляет 0,67 МПа. Расход продукта на выходе из УРУ составляет  $Q = 2520 \text{ м}^3/\text{ч} = 525 \text{ кг/с}$ .

Длина трубопроводов налива нефтепродуктов в железнодорожные вагоны-цистерны составляет 1000 м.

3.7.2. Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации.

*Физико-химические свойства обращающихся на рассматриваемом объекте горючих веществ и материалов*

Свойства бензина принимались согласно данным, приведенным в Прил. 1 настоящего Пособия. При этом с определенным запасом надежности свойства принимались по бензину АИ-93 (зимний): суммарная формула –  $C_{6,911} \cdot H_{12,168}$ ; молярная масса – 95,3 кг/кмоль; температура вспышки –  $-37 \text{ }^\circ\text{C}$ ; константы уравнения Антуана в диапазоне температур –  $-60 \div 90 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $A = 4,26511$ ,  $B = 695,019$ ,  $C_A = 223,220$ ; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 1,1 % (об.).

Свойства дизельного топлива принимались согласно данным, приведенным в Прил. 1 настоящего Пособия. При этом с определенным запасом надежности свойства дизельного топлива принимались по дизельному топливу «Л» (летнее) (ГОСТ 305-73): суммарная формула –  $C_{14,511} \cdot H_{29,120}$ ; молярная масса – 203,6 кг/кмоль; температура вспышки –  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ ; константы уравнения Антуана в диапазоне температур –  $+60 \div 240 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $A = 5,00109$ ,  $B = 1314,04$ ,  $C_A = 192,473$ ; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 0,52 % (об.).

*Статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций*

Данные по частотам реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий (частотам разгерметизации) для насосов, емкостного оборудования (в составе установки рекуперации паров углеводородов), а также трубопроводов

горючих и легковоспламеняющихся жидкостей, находящихся на рассматриваемом объекте, представлены в Прил. 2 к настоящему Пособию. При этом частоты разгерметизации железнодорожных вагонов-цистерн с определенным запасом надежности определялись как для резервуаров для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному.

Частота реализации огненного шара для емкостного технологического оборудования определялась согласно Прил. 2 к настоящему Пособию и составляет  $2,5 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup> для каждой из единиц технологического оборудования с обращением (хранением) ЛВЖ (железнодорожная вагон-цистерна, абсорбер 3 и сепаратор УРУ).

Частоты возникновения пожара в производственном здании на рассматриваемом объекте определялись на основе данных по частотам возникновения пожаров в зданиях, представленных в Прил. 2 к настоящему Пособию (как для склада химической продукции).

*Данные по метеорологическим условиям  
в районе местонахождения объекта*

Расчетная температура в соответствии с Прил. 4 к настоящему Пособию принималась равной максимально возможной температуре воздуха в климатической зоне размещения объекта, которая составляет +40 °С.

С определенным запасом надежности расчеты пожарного риска для рассматриваемого объекта проводились для наиболее теплого времени года (июль). Данные по скорости, направлениям и повторяемости ветра в месте расположения объекта для июля представлены в табл. 3.7.1. Расчеты пожарного риска для рассматриваемого объекта проводились для максимальной средней скорости ветра в наиболее теплое время года (июль), которая составляет  $V = 4,5$  м/с.

Таблица 3.7.1

**Данные по скорости, направлениям и повторяемости ветра  
в месте расположения объекта для июля**

Направление и скорость ветра								Штиль
С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
<u>12</u>	<u>11</u>	<u>9</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>6</u>	<u>18</u>	<u>28</u>	11
3,7	3,3	3	3,4	3,8	4,2	4,3	4,5	

Примечание: числитель – повторяемость направления ветра, %; знаменатель – средняя скорость ветра по направлениям, м/с.

### 3.7.3. Анализ пожарной опасности рассматриваемого объекта.

#### *Определение перечня пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития*

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров на рассматриваемом объекте был использован метод логических деревьев событий.

Построение логического дерева событий, лежащего в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого объекта, осуществлялось исходя из следующих предпосылок:

1. При проведении расчетов по оценке пожарного риска для рассматриваемого объекта физико-химические свойства обращающихся на объекте веществ принимались с определенным запасом надежности как для бензина.

2. В связи с тем, что расчетная температура составляет +40 °С, что превосходит температуру вспышки бензина, то рассматривается, в том числе, возможность реализации пожара-вспышки и взрыва паровоздушного облака.

3. Поскольку в железнодорожной вагоне-цистерне нефтепродукты хранятся при атмосферном давлении, а также в связи с тем, что диаметр цистерны не превышает 3,2 м, вследствие чего максимально возможное давление столба жидкости при истечении из вагона-цистерны не превышает 23,5 кПа, то факельное горение при разгерметизации железнодорожной вагона-цистерны не рассматривалось.

4. Поскольку температура вспышки бензина составляет менее + 28 °С, то согласно Прил. 3 к настоящему пособию условные вероятности мгновенного воспламенения, воспламенения с задержкой и сгорания с образованием избыточного давления принимались как для двухфазной среды.

На рис. 3.7.1–3.7.3 представлены деревья событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций и пожаров, на основе которых проводились расчеты по оценке пожарного риска для рассматриваемого объекта.

Отличие деревьев событий, представленных на рис. 3.7.2 и 3.7.3, обусловлено тем обстоятельством, что абсорберы 1 и 2 УРУ содержат исключительно пары ЛВЖ и не содержат ЛВЖ. В связи с этим возможность реализации пожара пролива при разгерметизации указанного емкостного технологического оборудования не рассматривалась.

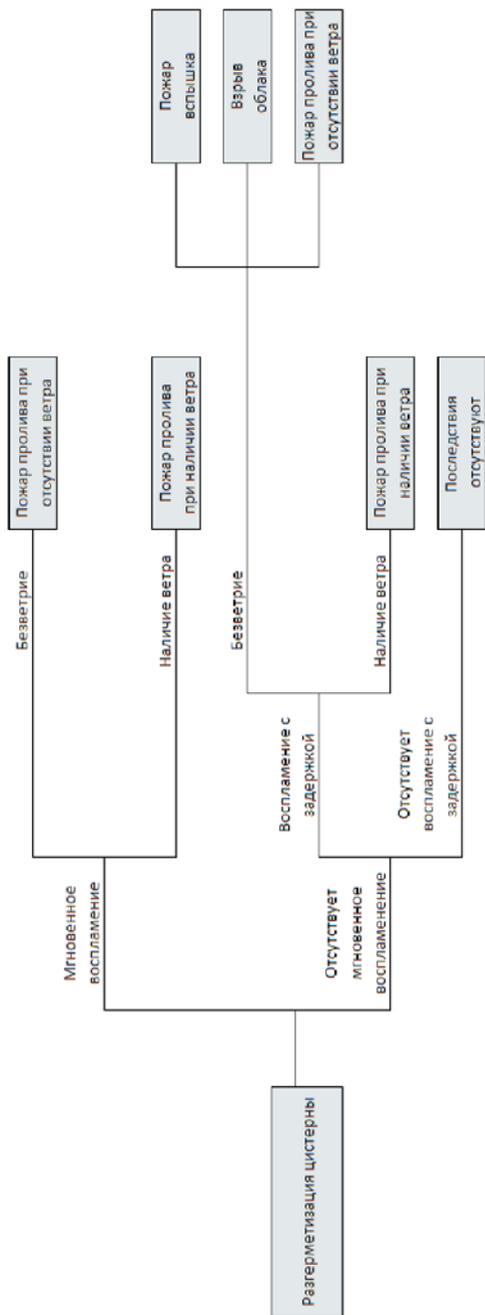
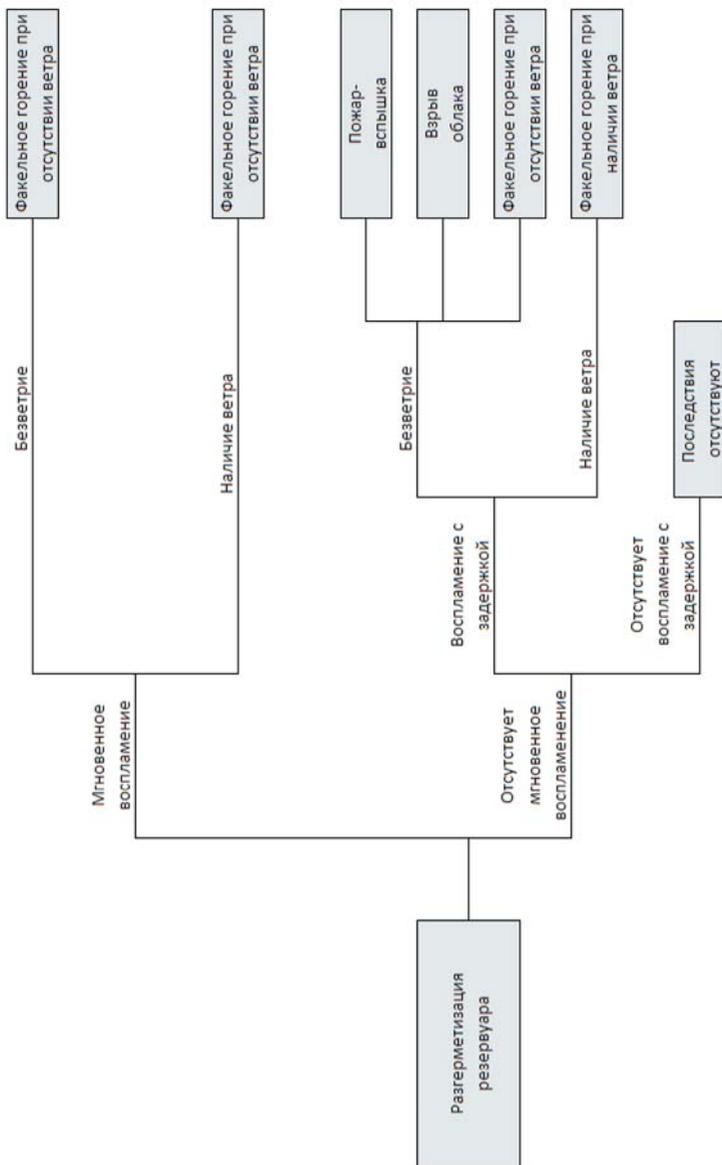
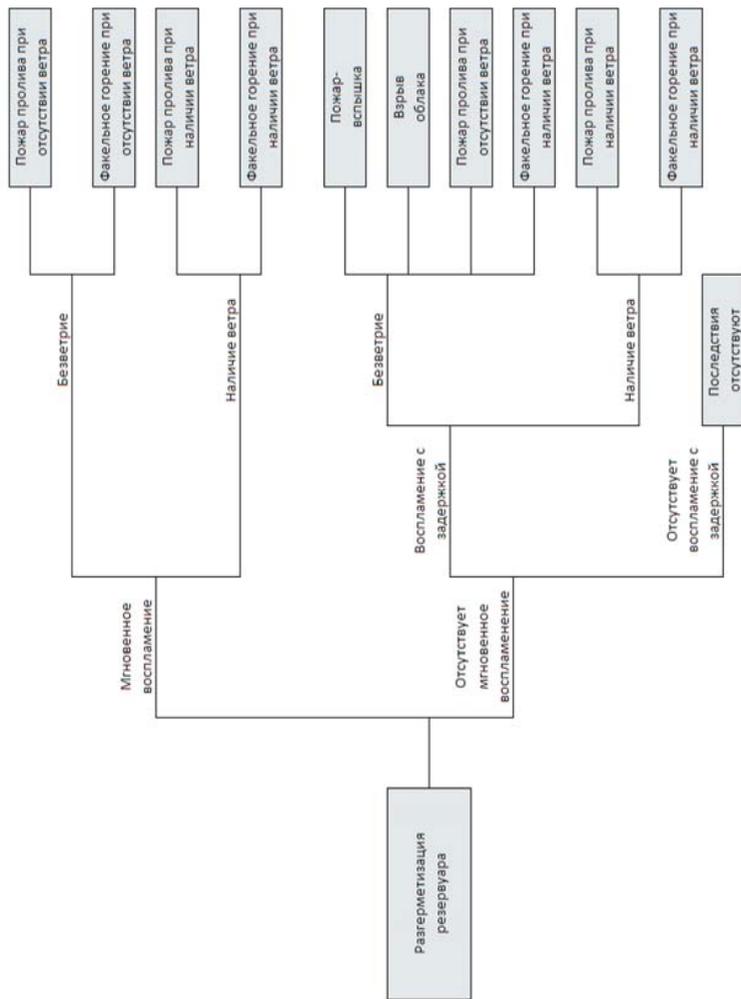


Рис. 3.7.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией железнодорожной вагона-цистерны с ЛВЖ



**Рис. 3.7.2. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией абсорберов 1 и 2 УРУ с парами ЛВЖ**



**Рис. 3.7.3. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией абсорбера 3 и сепаратора УРУ с ЛВЖ, а также трубопроводов налива, технологических трубопроводов и центрального насоса УРУ**

3.7.4. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.

В табл. 3.7.2 представлен перечень возможных пожароопасных ситуаций и пожаров, а также сценариев их развития, которые рассматривались при оценке пожарного риска для рассматриваемого объекта.

Таблица 3.7.2

***Перечень возможных пожароопасных ситуаций и сценариев их развития, рассматриваемых при оценке пожарного риска***

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Наименование разгерметизированного оборудования	Основные сценарии развития пожароопасных ситуаций
1	Железнодорожная вагон-цистерна	Пожар пролива, взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, огненный шар
2	Трубопровод налива нефтепродуктов	Пожар пролива, взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, факельное горение
3	Абсорбер 3 УРУ	Пожар пролива, взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, факельное горение, огненный шар
4	Абсорбер 1 УРУ	Взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, факельное горение
5	Абсорбер 2 УРУ	Взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, факельное горение
6	Сепаратор УРУ	Пожар пролива, взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, факельное горение, огненный шар
7	Трубопровод УРУ	Пожар пролива, взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, факельное горение
8	Насос УРУ	Пожар пролива, взрыв паровоздушного облака, пожар-вспышка, факельное горение

Данные по условным вероятностям реализации пожароопасных ситуаций при разгерметизации железнодорожных вагонов-цистерн, технологического оборудования и трубопроводов приведены в табл. 3.7.3, 3.7.7. Указанные данные получены на основании данных, представленных в табл. ПЗ.1, и результатов определения интенсивностей истечения паров ЛВЖ и ЛВЖ при разгерметизации технологического оборудования.

Массовый расход продукта для различных диаметров истечения при разгерметизации вагона-цистерны определялся в соответствии с формулой (П4.2) для высоты столба жидкости в вагоне-цистерне  $H = 3,2$  м, что соответствует диаметру цистерны.

При рассмотрении разгерметизации трубопроводов налива нефтепродуктов с диаметрами утечек 12,5, 25, 50 и 100 мм массовый расход истечения продукта определялся в соответствии с формулой (П4.2) для высоты столба жидкости  $H = 90$  м. При разгерметизации трубопроводов налива нефтепродуктов с диаметром утечки, соответствующей полному разрыву трубопровода, массовый расход истечения принимался равным максимальному расходу продукта через трубопровод  $Q = 2520 \text{ м}^3/\text{ч} = 525 \text{ кг/с}$ .

При рассмотрении разгерметизации трубопроводов УРУ с диаметрами утечек 12,5, 25, 50 и 100 мм, насоса, абсорберов и сепаратора УРУ давление в указанном технологическом оборудовании принималось равным 0,67 МПа, что соответствует максимально возможному давлению в УРУ. При разгерметизации трубопроводов УРУ с диаметром утечки, соответствующей полному разрыву трубопровода, массовый расход истечения принимался равным расходу продукта на выходе из установки, который составляет  $Q = 75 \text{ м}^3/\text{ч} = 15,6 \text{ кг/с}$ .

Результаты определения частот разгерметизации для железнодорожных вагонов-цистерн с нефтепродуктами, трубопроводов налива нефтепродуктов, трубопроводов, насоса,

абсорберов и сепаратора УРУ представлены в табл. 3.7.4 и табл. 3.7.8.

Результаты определения частот рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров для площадки налива рассматриваемого объекта и УРУ приведены в табл. 3.7.5 и 3.7.9. Указанные частоты определялись в соответствии с деревьями событий, приведенными на рис. 3.7.1–3.7.3, на основе данных, приведенных в Прил. 2 к настоящему Пособию. Суммарная частота разгерметизации железнодорожных вагонов-цистерн, приведенная в табл. 3.7.4, определена для железнодорожного состава максимального размера для загрузки нефтепродуктами на рассматриваемом объекте, который состоит из 28 вагонов-цистерн.

Таблица 3.7.3

**Условные вероятности реализации пожароопасных ситуаций на площадке налива рассматриваемого объекта**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Условная вероятность мгновенного воспламенения	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения	Условная вероятность с образованием изосторания при бытовом давлении при образовании горячего паровоздушного облака и его последующем воспламенении
1	25,0	2,3	0,035	0,005	0,24
	100,0	37,3	0,035	0,036	0,24
	Полное разрушение	Не определен	0,200	0,240	0,60
2	12,5	3,1	0,035	0,036	0,24
	25,0	12,4	0,035	0,036	0,24
	50,0	49,5	0,035	0,036	0,24
	100,0	197,9	0,150	0,176	0,60
	Полное разрушение	525,0	0,200	0,240	0,60

Таблица 3.7.4

**Частоты разгерметизации железнодорожных вагонов-цистерн и трубопроводов налива нефтепродуктов**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации одной цистерны, год <sup>-1</sup>	Суммарная частота разгерметизации вагонов-цистерн, год <sup>-1</sup>	Частота разгерметизации трубопроводов налива нефтепродуктов на единицу длины, м <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup>	Суммарная частота разгерметизации трубопроводов налива нефтепродуктов, год <sup>-1</sup>
1	25,0	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	–	–
	100,0	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	–	–
	Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	–	–
2	12,5	–	–	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
	25,0	–	–	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$
	50,0	–	–	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
	100,0	–	–	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
	Полное разрушение	–	–	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$

**Частоты реализации рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров на площадке налива рассматриваемого объекта**

Наименование пожароопасной ситуации/ пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации/ пожара, год <sup>-1</sup>	Частоты реализации сценариев развития пожароопасной ситуации/ пожара, год <sup>-1</sup>			
			Пожар пролива	Взрыв паровоздушного облака	Факельное горение	Пожар-вспышка
1	25,0	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	—	$9,9 \cdot 10^{-7}$
	100,0	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	—	$9,8 \cdot 10^{-7}$
	Полное разрушение	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	—	$1,2 \cdot 10^{-7}$
2	12,5	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$
	25,0	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$
	50,0	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-6}$
	100,0	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-7}$
	Полное разрушение	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
Образование огненного шара (пожароопасная ситуация 1)	—	$7,0 \cdot 10^{-4}$	—	—	—	—

Примечание: «—» в ячейках столбцов частот реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций/ пожаров означает, что данный сценарий не рассматривался для соответствующих указанным ячейкам пожароопасных ситуаций/пожаров.

Таблица 3.7.6

**Частоты возникновения пожара в помещениях производственного здания**

Наименование помещения, позиция	Частота возникновения пожара, год <sup>-1</sup>
Социальное помещение	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Санузел	$4,4 \cdot 10^{-5}$
Помещение КИП	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Производственное помещение	$3,7 \cdot 10^{-4}$
Помещение весовой	$7,74 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3.7.7

**Условные вероятности реализации пожароопасных ситуаций при разгерметизации технологического оборудования и трубопроводов УРУ**

Наименование пожарной ситуации/ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Условная вероятность мгновенного воспламенения	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горячего паровоздушного облака и его последующем воспламенении
3	5,0	0,50	0,005	0,005	0,08
	12,5	2,90	0,035	0,036	0,24
	25,0	11,60	0,035	0,036	0,24
	50,0	46,30	0,035	0,036	0,24
	100,0	185,30	0,150	0,176	0,60
6	Полное разрушение	Не определен	0,200	0,240	0,60
	5,0	0,50	0,005	0,005	0,08
	12,5	2,90	0,035	0,036	0,24
	25,0	11,70	0,035	0,036	0,24

Наименование пожарной ситуации/ пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Условная вероятность мгновенного воспламенения	Условная вероятность воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горячего паровоздушного облака и его последующем воспламенении
4	50,0	46,80	0,035	0,036	0,24
	100,0	187,20	0,150	0,176	0,60
	Полное разрушение	Не определен	0,200	0,240	0,60
	5,0	0,04	0,005	0,005	0,08
	12,5	0,20	0,005	0,005	0,08
	25,0	0,90	0,005	0,005	0,08
	50,0	3,60	0,035	0,036	0,24
5	100,0	14,60	0,035	0,036	0,24
	Полное разрушение	Не определен	0,200	0,240	0,60
	5	0,04	0,005	0,005	0,08
	12,5	0,23	0,005	0,005	0,08
	25	0,90	0,005	0,005	0,08
	50	3,60	0,035	0,036	0,24
	100	14,60	0,035	0,036	0,24
7	Полное разрушение	Не определен	0,200	0,240	0,60
	12,5	2,90	0,035	0,036	0,24
	25,0	11,40	0,035	0,036	0,24
	50,0	15,60	0,035	0,036	0,24
	100,0	15,60	0,035	0,036	0,24
	Полное разрушение	15,60	0,035	0,036	0,24
	Полное разрушение	15,60	0,035	0,036	0,24

Наименование пожарной ситуации/ пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Условная вероятность мгновенного воспламенения	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения	Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горячего паровоздушного облака и его последующем воспламенении
8	5,0	0,50	0,005	0,005	0,08
	12,5	2,90	0,035	0,036	0,24
	25,0	11,40	0,035	0,036	0,24
	50,0	15,60	0,035	0,036	0,24
	325,0	15,60	0,035	0,036	0,24

Таблица 3.7.8  
Частоты разгерметизации технологического оборудования и трубопроводов УРУ

Наименование пожарной ситуации/ пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации технологического оборудования, год <sup>-1</sup>	Частота разгерметизации трубопроводов УРУ на единицу длины, м <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>	Суммарная частота разгерметизации трубопроводов УРУ, год <sup>-1</sup>
3	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	—	—
	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	—	—
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	—	—
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	—	—
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	—	—
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	—	—

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации технологического оборудования, год <sup>-1</sup>	Частота разгерметизации трубопроводов УРУ на единицу длины, м <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>	Суммарная частота разгерметизации трубопроводов УРУ, год <sup>-1</sup>
6	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	–	–
	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	–	–
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	–	–
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	–	–
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	–	–
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	–	–
4	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	–	–
	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	–	–
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	–	–
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	–	–
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	–	–
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	–	–
5	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	–	–
	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	–	–
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	–	–
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	–	–
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	–	–
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	–	–

Окончание табл. 3.7.7

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации технологического оборудования, год <sup>-1</sup>	Частота разгерметизации трубопроводов УРУ на единицу длины, м <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>	Суммарная частота разгерметизации трубопроводов УРУ, год <sup>-1</sup>
8	5,0	$4,3 \cdot 10^{-3}$	–	–
	12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$	–	–
	25,0	$5,1 \cdot 10^{-4}$	–	–
	50,0	$2,0 \cdot 10^{-4}$	–	–
	325,0	$1,0 \cdot 10^{-4}$	–	–
7	12,5	–	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
	25,0	–	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$1,58 \cdot 10^{-4}$
	50,0	–	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
	100,0	–	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$
	Полное разрушение	–	–	$2,5 \cdot 10^{-8}$

Примечание: «–» в ячейках столбцов частот реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций/пожаров означает, что данный сценарий не рассматривался для соответствующих указанным ячейкам пожароопасных ситуаций/пожаров.

**Частоты реализации рассматриваемых сценариев развития пожара/опасных ситуаций и пожаров при разгерметизации технологического оборудования и трубопроводов УРУ**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации/пожара, год <sup>-1</sup>	Частоты реализации сценариев развития пожара/опасной ситуации/пожара, год <sup>-1</sup>				Пожар-вспышка
			Пожар пролива	Взрыв паровоздушного облака	Факельное горение	Пожар-вспышка	
3	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	
	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$9,2 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$5,7 \cdot 10^{-9}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$1,12 \cdot 10^{-8}$	
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$	—	$2,5 \cdot 10^{-9}$	
7	12,5	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	—	$1,1 \cdot 10^{-6}$	
	25,0	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	
	50,0	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	
	100,0	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$7,6 \cdot 10^{-8}$	
	Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	
	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	—	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	
4	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	—	$4,4 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$	
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	—	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$3,12 \cdot 10^{-9}$	
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	—	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,11 \cdot 10^{-8}$	
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	—	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$	
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	—	$3,8 \cdot 10^{-9}$	—	$4,4 \cdot 10^{-8}$	
	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	—	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	

Продолжение табл. 3.7.9

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации/пожара, год <sup>-1</sup>	Частоты реализации сценариев развития пожароопасной ситуации/пожара, год <sup>-1</sup>			
			Пожар пролива	Взрыв паровоздушного облака	Факельное горение	Пожар-вспышка
5	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	–	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$
	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	–	$4,4 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	–	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$3,12 \cdot 10^{-9}$
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	–	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,11 \cdot 10^{-8}$
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	–	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	–	$3,8 \cdot 10^{-9}$	–	$4,43 \cdot 10^{-8}$
6	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$
	12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$9,2 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$
	25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$5,7 \cdot 10^{-9}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
	50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,10 \cdot 10^{-8}$
	100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$1,12 \cdot 10^{-8}$
	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$1,18 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$	–	$2,5 \cdot 10^{-9}$
8	5,0	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
	12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
	25,0	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
	50,0	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$
	325,0	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Частота разгерметизации/пожара, год <sup>-1</sup>	Частоты реализации сценариев развития пожароопасной ситуации/пожара, год <sup>-1</sup>		
			Пожар пролива	Взрыв паровоздушного облака	Факельное горение
Образование огненного шара для пожароопасной ситуации 3	–	$2,5 \cdot 10^{-5}$	–	–	–
Образование огненного шара для сепаратора для пожароопасной ситуации 6	–	$2,5 \cdot 10^{-5}$	–	–	–

Примечание: «–» в ячейках столбцов частот реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций/пожаров означает, что данный сценарий не рассматривался для соответствующих указанным ячейкам пожароопасных ситуаций/пожаров.

3.7.5. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в Прил. 4 к настоящему Пособию.

При этом согласно п. 16 Методики [1] для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров учитываются следующие опасные факторы пожара:

а) непосредственное воздействие пламени и тепловое излучение при факельном горении, пожарах пролива и огненных шарах;

б) избыточное давление и импульс волны давления при сгорании паровоздушного облака в открытом пространстве;

в) расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

*Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций*

Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций проводится на основе следующих предпосылок.

1. При определении массы утечек продукта при разгерметизации технологических трубопроводов принималось, что время отключения указанных трубопроводов в соответствии с Прил. 4 к настоящему Пособию составляет 120 с.

2. При определении массы утечек из технологических трубопроводов УРУ, насоса УРУ, адсорбера 3 и сепаратора V410 принималось, что масса утечки соответствует объему разгерметизировавшегося технологического аппарата или части трубопровода (с определенным запасом надежности длина трубопровода, из которого происходит истечение, принята равной 70 м) вместе с объемом продукта, поступившего в окружающее пространство с момента возникновения утечки и до момента отключения трубопроводов.

3.7.6. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития осуществляется на основе сопоставления результатов моделирования динамики опасных факторов пожара на территории объекта и прилегающей к нему территории с данными о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара, изложенные в Прил. 6 к настоящему Пособию.

Для пожара-пролива и вертикального факела принимаем согласно Прил. 6 к настоящему Пособию, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива или факела, принимается равной 1.

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается формулой (Пб.11). Для поражения человека волной давления величина пробит-функции описывается формулой (Пб.7).

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития проводилась на основе следующих предпосылок (табл. 3.7.1):

1. для пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией железнодорожных вагонов-цистерн, принималось, что максимальная площадь пролива составляет  $300 \text{ м}^2$ ;

2. расчет интенсивности теплового излучения для пожара пролива в случае наличия ветра проводился для максимальной скорости ветра в месте расположения рассматриваемого объекта, что отвечает наибольшей степени поражения человека, находящегося с наветренной стороны.

Результаты расчета размеров зон поражения опасными факторами пожара и взрыва при реализации сценариев развития рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с возникновением пожара пролива,

факельного горения, взрыва паровоздушного облака, пожара-вспышки, огненного шара приведены в табл. 3.7.10–3.7.14 соответственно. При этом в указанных таблицах переведены размеры зон поражения, на границах которых условная вероятность поражения человека составляет следующие фиксированные значения:

- 100, 10 и 1 % – для пожара пролива, взрыва паровоздушного облака и огненного шара;
- 100 % – для пожара-вспышки и факельного горения.

Таблица 3.7.10

**Размеры зон поражения при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций, связанных с возникновением пожаров пролива**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Площадь пролива, м <sup>2</sup>	Размер зоны поражения, м		
			100 %	10 %	1 %
1	25,0	300,0	9	27,0	32,0
	100,0	300,0	9	27,0	32,0
	Полное разрушение	300,0	9	27,0	32,0
2	12,5	223,0	8	27,0	32,0
	25,0	230,0	8	28,0	32,0
	50,0	240,0	8	28,0	32,0
	100,0	378,0	10	33,0	38,0
	Разрыв	640,0	14	37,0	43,0
3	5,0	73,8	4	5,0	8,0
	12,5	73,8	4	5,0	8,0
	25,0	73,8	4	5,0	8,0
	50,0	73,8	4	5,0	8,0
	100,0	73,8	4	5,0	8,0
	Полное разрушение	73,8	4	5,0	8,0
6	5,0	105,0	5	19,0	23,0
	12,5	105,0	5	19,0	23,0
	25,0	105,0	5	19,0	23,0
	50,0	105,0	5	19,0	23,0
	100,0	105,0	5	19,0	23,0
	Полное разрушение	105,0	5	19,0	23,0

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Площадь пролива, м <sup>2</sup>	Размер зоны поражения, м		
			100 %	10 %	1 %
7	12,5	132,2	6	20,0	24,0
	25,0	132,2	6	20,0	24,0
	50,0	132,2	6	20,0	24,0
	100,0	132,2	6	20,0	24,0
	Разрыв	132,2	6	20,0	24,0
8	5,0	132,2	6	20,5	24,5
	12,5	132,2	6	20,5	24,5
	25,0	132,2	6	20,5	24,5
	50,0	132,2	6	20,5	24,5
	325,0	132,2	6	20,5	24,5

Таблица 3.7.11

**Размеры зон поражения при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций, связанных с факельным горением**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Размер зоны поражения, м
2	12,5	3,10	23
	25,0	12,40	41
	50,0	49,50	71
	100,0	197,90	124
	Полное разрушение	525,00	183
3	5,0	0,50	10
	12,5	2,90	22
	25,0	11,60	39
	50,0	46,30	69
	100,0	185,30	121
4	5,0	0,04	3
	12,5	0,20	7
	25,0	0,90	13
	50,0	3,60	22
	100,0	14,60	39

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Массовый расход истечения в начальный момент времени, кг/с	Размер зоны поражения, м
5	5,0	0,04	3
	12,5	0,20	7
	25,0	0,90	13
	50,0	3,60	22
	100,0	14,60	39
6	5,0	0,50	11
	12,5	2,90	23
	25,0	11,70	40
	50,0	46,80	69
	100,0	187,20	121
7	12,5	2,90	23
	25,0	11,70	40
	50,0	15,60	45
	100,0	15,60	45
	Разрыв	15,60	45
8	5,0	0,50	23
	12,5	2,86	40
	25,0	11,40	45
	50,0	15,60	45
	325,0	15,60	45

Таблица 3.7.12

**Размеры зон поражения при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций, связанных со взрывом паровоздушного облака**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Масса паров ЛВЖ, кг	Размер зоны поражения, м		
			100 %	10 %	1 %
1	25,0	1953	27	208	316
	100,0	1953	27	208	316
	Полное разрушение	1953	27	208	316
2	12,5	1445	22	170	259
	25,0	1492	22	174	265
	50,0	1555	23	179	272
	100,0	2451	31	241	367
	Разрыв	4147	44	340	519

Окончание табл. 3.7.12

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Масса паров ЛВЖ, кг	Размер зоны поражения, м		
			100 %	10 %	1 %
3	5,0	478	14	83	125
	12,5	478	14	83	125
	25,0	478	14	83	125
	50,0	478	14	83	125
	100,0	478	14	83	125
	Полное разрушение	478	14	83	125
4	5,0	534	14	89	135
	12,5	534	14	89	135
	25,0	534	14	89	135
	50,0	534	14	89	135
	100,0	534	14	89	135
	Полное разрушение	534	14	89	135
5	5,0	534	14	89	135
	12,5	534	14	89	135
	25,0	534	14	89	135
	50,0	534	14	89	135
	100,0	534	14	89	135
	Полное разрушение	534	14	89	135
6	5,0	680	17	104	158
	12,5	680	17	104	158
	25,0	680	17	104	158
	50,0	680	17	104	158
	100,0	680	17	104	158
	Полное разрушение	680	17	104	158
7	12,5	857	20	121	183
	25,0	857	20	121	183
	50,0	857	20	121	183
	100,0	857	20	121	183
	Разрыв	857	20	121	183
8	5,0	857	20	121	183
	12,5	857	20	121	183
	25,0	857	20	121	183
	50,0	857	20	121	183
	325,0	857	20	121	183

Таблица 3.7.13

**Размеры зон поражения при реализации сценариев  
развития пожароопасных ситуаций,  
связанных с реализацией пожара-вспышки**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Масса паров ЛВЖ, кг	Размер зоны поражения, м
1	25,0	1953	70
	100,0	1953	70
	Полное разрушение	1953	70
2	12,5	1445	64
	25,0	1492	65
	50,0	1555	67
	100,0	2451	77
	Разрыв	4147	92
3	5,0	478	44
	12,5	478	44
	25,0	478	44
	50,0	478	44
	100,0	478	44
	Полное разрушение	478	44
4	5,0	534	46
	12,5	534	46
	25,0	534	46
	50,0	534	46
	100,0	534	46
	Полное разрушение	534	46
5	5,0	534	46
	12,5	534	46
	25,0	534	46
	50,0	534	46
	100,0	534	46
	Полное разрушение	534	46
6	5,0	680	50
	12,5	680	50
	25,0	680	50
	50,0	680	50
	100,0	680	50
	Полное разрушение	680	50

Окончание табл. 3.7.13

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Тип утечки (диаметр отверстия истечения, мм)	Масса паров ЛВЖ, кг	Размер зоны поражения, м
7	12,5	857	53
	25,0	857	53
	50,0	857	53
	100,0	857	53
	Разрыв	857	53
8	12,5	857	53
	25,0	857	53
	50,0	857	53
	100,0	857	53
	Разрыв	857	53

Таблица 3.7.14

**Размеры зон поражения при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций, связанных с образованием огненного шара**

Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Масса ЛВЖ в технологическом оборудовании, кг	Размер зоны поражения, м		
		100 %	10 %	1 %
1	45 000	179	454	528
3	892	8	81	100
6	2060	13	120	146

Расчет распространения опасных факторов пожара в помещениях производственного здания проводился в соответствии с Прил. 5 к настоящему Пособию с использованием зонной модели описания термогазодинамических параметров пожара в здании. В соответствии с п. 34 Методики [1] для определения потенциального пожарного риска в помещениях производственного здания был рассмотрен качестве расчетного один наиболее неблагоприятный сценарий возникновения пожара, характеризующийся максимальной условной вероятностью поражения человека.

В связи с тем, что первый и второй этажи производственного здания сообщаются посредством наружных лестниц и не сообщаются открытыми проемами, а также тем, что эва-

куация находящихся на указанных этажах людей происходит с каждого этажа непосредственно наружу, то при расчете распространения опасных факторов пожара данные этажи рассматривались как отдельные пожарные отсеки. В связи с указанными выше обстоятельствами для производственного здания рассмотрены два сценария проектного пожара для каждого из этажей здания, характеризующиеся максимальной условной вероятностью поражения человека.

*Сценарий № 1.* Очаг пожара возникает в производственном помещении на первом этаже производственного здания. Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электрокабели), очаг распространяется по горизонтальной плоскости равномерно распределенного материала в виде круга. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются опасными факторами пожара эвакуационные выходы из производственного помещения и первого этажа производственного здания.

Параметры для расчета по зонной модели принимаем следующими [10]:

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| - низшая теплота сгорания              | 25,0 МДж/кг;                    |
| - линейная скорость пламени            | 0,0071 м/с;                     |
| - удельная скорость выгорания          | 0,0244 кг/(м <sup>2</sup> · с); |
| - дымообразующая способность           | 635 Нп · м <sup>2</sup> /кг;    |
| - потребление кислорода O <sub>2</sub> | 2,19 кг/кг;                     |
| - коэффициент полноты сгорания         | 0,95.                           |

Выделение газа:

- |                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| - углекислого газа CO <sub>2</sub> | 0,398 кг/кг;  |
| - угарного газа CO                 | 0,109 кг/кг;  |
| - хлористого водорода HCl          | 0,0245 кг/кг. |

В табл. 3.7.15–3.7.18 приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов из помещений.

**Результаты расчета времени блокирования  
эвакуационных выходов в производственном помещении**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	38
по потере видимости	26
по пониженному содержанию кислорода	82
по $X_{CO_2}$	142
по $X_{CO}$	36
по $X_{HCl}$	34

Расчетное время эвакуации из производственного помещения составляет  $t_{pij} = 0,14$  мин = 8,4 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij}$  принимаем как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{pij} + \tau_{н.эij} = 8,4 \text{ с} \leq 0,8 \cdot \tau_{бл.ij} = 0,8 \cdot 26 = 20,8 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.виj}$  через аварийные выходы равной  $P_{д.виj} = 0,001$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$  согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) (1 - P_{д.виj}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{диj}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара составляет согласно формуле (4)

$$Q_{диj} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении КИП**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	64
по потере видимости	49
по пониженному содержанию кислорода	110
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 300 с
по $X_{CO}$	64
по $X_{HCl}$	60

Расчетное время эвакуации из помещения КИП составляет  $t_{rij} = 0,1$  мин = 6 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij} = 0,5$  мин = 30 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{rij} + \tau_{н.эij} = 36 \text{ с} \leq 0,8 \cdot \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 49 = 39,2 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.вij}$  через аварийные выходы равной  $P_{д.вij} = 0,001$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$  согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) (1 - P_{д.вij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара составляет согласно формуле (4)

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в социальном помещении**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	95
по потере видимости	70
по пониженному содержанию кислорода	184
по $X_{CO_2}$	Не достигается в течение 300 с
по $X_{CO}$	93
по $X_{HCl}$	97

Расчетное время эвакуации из социального помещения составляет  $t_{p_{ij}} = 0,15$  мин = 9 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.э_{ij}} = 0,5$  мин = 30 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.п_{ij}} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{p_{ij}} + \tau_{н.э_{ij}} = 39 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{бл_{ij}} = 0,8 \cdot 70 = 56 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.в_{ij}}$  через аварийные выходы равной  $P_{д.в_{ij}} = 0,001$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{э_{ij}}$  согласно формуле (5) равна

$$P_{э_{ij}} = 1 - (1 - P_{э.п_{ij}}) (1 - P_{д.в_{ij}}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{d_{ij}}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара составляет согласно формуле (4)

$$Q_{d_{ij}} = (1 - P_{э_{ij}}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении санузла**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	110
по потере видимости	85
по пониженному содержанию кислорода	220
по $X_{CO_2}$	Не достигается за 300 с
по $X_{CO}$	112
по $X_{HCl}$	114

Расчетное время эвакуации из помещения санузла составляет  $t_{pij} = 0,03$  мин = 2 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij} = 0,5$  мин = 30 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{pij} + \tau_{н.эij} = 32 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 85 = 68 \text{ с}.$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.виj}$  через аварийные выходы равной  $P_{д.виj} = 0,001$ .

Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$  согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) (1 - P_{д.виj}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

*Сценарий № 2.* Очаг пожара возникает в помещении весовой на втором этаже производственного здания. Пламя распространяется по горючим материалам помещения (мебель, бумага), очаг распространяется по горизонтальной плоскости равномерно распределенного материала в виде круга. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются опасными факторами пожара эвакуационные выходы из помещения весовой и второго этажа производственного здания.

Параметры для расчета по зонной модели принимаем следующими [10]:

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| - низшая теплота сгорания              | 14,0 МДж/кг;                    |
| - линейная скорость пламени            | 0,042 м/с;                      |
| - удельная скорость выгорания          | 0,0129 кг/(м <sup>2</sup> · с); |
| - дымообразующая способность           | 53 Нп · м <sup>2</sup> /кг;     |
| - потребление кислорода O <sub>2</sub> | 1,161 кг/кг;                    |
| - коэффициент полноты сгорания         | 0,95.                           |

Выделение газа:

- |                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| - углекислого газа CO <sub>2</sub> | 0,642 кг/кг;  |
| - угарного газа CO                 | 0,0317 кг/кг; |
| - хлористого водорода HCl          | 0,0 кг/кг.    |

В табл. 3.7.19 приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов из помещения весовой на втором этаже производственного здания.

**Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении весовой**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	38
по потере видимости	38
по пониженному содержанию кислорода	64
по $X_{CO_2}$	101
по $X_{CO}$	40

Расчетное время эвакуации из помещения весовой составляет  $t_{rij} = 0,27$  мин = 16,2 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij}$  принимаем как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{rij} + \tau_{н.эij} = 16,2 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 38 = 30,4 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.вij}$  через аварийные выходы равной  $P_{д.вij} = 0,001$ .

Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$  согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij})(1 - P_{д.вij}) = 0,999.$$

Принимаем в соответствии с вероятностью эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара составляет согласно формуле (4)

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij})(1 - D_{ij}) = 0,001.$$

### 3.7.7. Вычисление расчетных величин пожарного риска.

#### *Потенциальный пожарный риск на территории объекта*

Расчет величин потенциального пожарного риска в различных точках территории рассматриваемого объекта проводился на основе полученных результатов определения частот реализации сценариев развития рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров и зон поражения характерными для них опасными факторами пожара и взрыва.

Расчет величин потенциального пожарного риска в производственном здании на рассматриваемом объекте проводился на основе полученных результатов определения частот возникновения пожара в помещениях указанного здания и данных по условной вероятности поражения человека при его нахождении в этих помещениях.

При определении расчетных величин потенциального риска в рамках рассмотрения сценариев развития пожароопасной ситуации № 1 (разгерметизация железнодорожного вагона-цистерны) с учетом характеристик загрузки в вагоны-цистерны продуктов, обеспечиваемых АУТН, а также тех обстоятельств, что железнодорожный состав состоит из 28 вагонов-цистерн и суммарно в сутки происходит налив 170 цистерн, то время пребывания вагонов-цистерн на площадке налива рассматриваемого объекта не превышает 6 ч/сут.

Исходя из представленного выше времени пребывания вагонов-цистерн на площадке налива рассматриваемого объекта максимальное значение потенциального пожарного риска на площадке налива составляет  $2,9 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>. Указанное значение потенциального риска соответствует максимальному значению на территории рассматриваемого объекта.

Максимальное значение потенциального пожарного риска для помещений производственного здания, расположенных на первом этаже здания, составляет  $P_{\max 1} = 7,7 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, для помещений, расположенных на втором этаже здания, составляет  $P_{\max 2} = 7,2 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>.

### *Индивидуальный пожарный риск на территории объекта*

Значение индивидуального пожарного риска для отдельного работника из числа персонала зависит от особенностей его деятельности и доли времени, которое работник проводит на различных участках объекта, характеризующимися различными значениями потенциального риска.

Вероятность присутствия работника на территории рассматриваемого объекта  $q_m$  оценивалась исходя из следующих предпосылок:

- доля времени присутствия конкретного работника из числа персонала (работника  $m$ ) на территории рассматриваемого объекта не превышает 40 ч в неделю, что составляет около 24 %;

- время пребывания в помещениях производственного здания работников, постоянные рабочие места которых находятся в производственном здании, составляет не более 20 % от общего рабочего времени.

Данные по времени пребывания различных категорий персонала в различных помещениях производственного здания приведены в табл. 3.7.20.

*Таблица 3.7.20*

#### ***Данные по времени пребывания различных категорий персонала в помещениях производственного здания***

Категория персонала	Помещение производственного здания	Доля времени пребывания в течение года
Операторы обслуживания налива	Социальное помещение	$4,5 \cdot 10^{-2}$
	Санузел	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Операторы контроля налива	Весовая	$1,8 \cdot 10^{-1}$
	Социальное помещение	$4,5 \cdot 10^{-2}$
Операторы подготовки документов	Санузел	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Инженер КИПиА	Помещение КИП	$2,4 \cdot 10^{-2}$
Механик Машинист технологических насосов	Производственное помещение	$2,4 \cdot 10^{-2}$

Следовательно, максимальная величина индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта, обусловленного возможными пожарами на объекте, достигается для операторов обслуживания налива и составляет  $R_m^{\max} = 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Индивидуальный пожарный риск не превышает нормативное значение, так как выполняется условие

$$R_m^{\max} = 5,2 \cdot 10^{-5} \leq R_m^{\text{н}} = 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Нормативное значение индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта составляет  $R_m^{\text{н}} = 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ , так как указанный объект относится к объектам, перечисленным в разд. 1.5 настоящего Пособия, для которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов.

### **3.8. Пример расчета для транспортировки опасных грузов автомобильным транспортом**

На настоящем примере показан расчет обусловленного возможными пожарами при транспортировке СУГ автомобильным транспортом величин пожарного риска.

#### **3.8.1. Описание объекта.**

В качестве транспортировки опасных грузов в настоящем примере рассматривается перевозка сжиженного углеводородного газа (СУГ) автомобильным транспортом по участку автодороги.

СУГ перевозится автомобильной цистерной емкостью  $30 \text{ м}^3$ . Масса СУГ, находящегося в цистерне, составляет  $m_{\Gamma} = 13 \cdot 10^3 \text{ кг}$ .

Длина участка автодороги, по которому осуществляется перевозка СУГ, составляет  $L = 7 \text{ км}$ .

Суммарный годовой трафик (произведение числа проехавших по участку дороги автомобилей в течение года на путь, который они проехали) всех автомобилей на рассматриваемом участке автодороги составляет

$$TR = 4 \cdot 10^6 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Доля автоцистерн с СУГ среди всех перемещающихся по автодороге автотранспортных средств составляет  $D = 0,001$ .

3.8.2. Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации.

*Физико-химические свойства транспортируемых автомобильным транспортом опасных грузов*

Свойства СУГ принимались согласно данным, приведенным в Прил. 1 настоящего Пособия. При этом с определенным запасом надежности свойства СУГ принимались по пропану: формула –  $C_3H_8$ ; молярная масса –  $44 \cdot 10^{-3}$  кг · моль; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 2,0 % (об.). Критическое давление пропана составляет  $P_c = 41,9 \cdot 10^5$  Па, критическая температура –  $T_c = 369,8$  К.

Температура окружающей среды составляет  $T = 300$  К.

Температура транспортируемого СУГ составляет  $T = 300$  К.

Давление транспортируемого СУГ составляет  $P = 1,3 \cdot 10^6$  Па.

Плотность жидкой фазы СУГ составляет  $\rho_l = 485,5$  кг/м<sup>3</sup>, плотность паровой фазы СУГ –  $\rho_v = 17,74$  кг/м<sup>3</sup>.

Плотность паровой фазы пропана при температуре окружающей среды составляет  $\rho_T = 1,87$  кг/м<sup>3</sup>.

*Статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций*

Удельное число аварий со всеми автомобилями, связанными с выходом груза за пределы автомобиля, на рассматриваемом участке автодороги (частота разгерметизации автотранспорта) составляет  $R = 5 \cdot 10^{-8}$  км<sup>-1</sup>.

*Данные по метеорологическим условиям в районе местонахождения объекта*

Скорость ветра на участке автодороги, на котором осуществляется транспортировка СУГ, с определенным запасом надежности принимается  $u = 2$  м/с.

### 3.8.3. Анализ пожарной опасности транспортировки СУГ автомобильным транспортом.

#### *Определение перечня пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития*

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров на рассматриваемом объекте был использован метод логических деревьев событий.

Построение логического дерева событий, лежащего в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого объекта, осуществлялось исходя из следующих предпосылок:

1. рассматриваются два типа разгерметизации – истечение из отверстия диаметром 50 мм и полное разрушение автомобильной цистерны с СУГ;
2. среди опасных факторов пожара рассматриваются наиболее характерные явления: факельное горение, пожар-вспышка и огненный шар.

На рис. 3.8.1 представлено дерево событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций и пожаров, на основе которого проводились расчеты по оценке пожарного риска для случая транспортировки СУГ автомобильным транспортом.



**Рис. 3.8.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией автомобильной цистерны с СУГ**

3.8.4. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.

Частоту разгерметизации автомобильной цистерны с СУГ  $\lambda$  ( $\text{м}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ) находим по формуле:

$$\lambda = R \cdot TR \cdot D/L = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1} \cdot \text{год}^{-1},$$

где  $R$  – удельное число аварий со всеми автомобилями, связанными с выходом груза за пределы автомобиля, на рассматриваемом участке автодороги (частота разгерметизации автотранспорта),  $\text{м}^{-1}$ ;  $TR$  – суммарный годовой трафик всех автомобилей на рассматриваемом участке автодороги,  $\text{м} \cdot \text{год}^{-1}$ ;  $D$  – доля автоцистерн с СУГ среди всех перемещающихся по автодороге автотранспортных средств;  $L$  – длина участка автодороги, по которому осуществляется перевозка СУГ, м.

3.8.5. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в Прил. 4 к настоящему Пособию.

При этом согласно п. 16 Методики [1] для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров учитываются следующие опасные факторы пожара:

- а) непосредственное воздействие пламени факельного горения и тепловое излучение при огненном шаре;
- б) расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

#### *Факельное горение*

Рассматриваем горизонтальный факел, условная вероятность реализации которого согласно Прил. 4 к настоящему Пособию составляет 0,67. Область воздействия факельного горения по координате  $x$ , которая соответствует трассе прохождения автодороги, описывается выражением:

$$x_2 - x_1 = \begin{cases} 2\sqrt{L_f^2 - r^2} & \text{при } L_f \geq r \\ 0 & \text{при } L_f < r, \end{cases}$$

где  $L_f$  – длина факела, м;  $r$  – расстояние от автодороги, м;  $x_1, x_2$  – координаты начала и окончания участка влияния, м. Границы участка влияния определяются из условия, что зона поражения опасными факторами пожара при реализации аварии на участке автодороги за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии  $r$  от автодороги.

Для определения длины факела принимаем, что истекает жидкая фаза СУГ, что соответствует наиболее опасному случаю. Величины расходов паровой и жидкой фаз СУГ определяется в соответствии с формулами (П4.15) и (П4.16) и составляют  $G_v = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  (расход паровой фазы СУГ),  $G_l = 6,6 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  (расход жидкой фазы СУГ) для величины коэффициента истечения  $\mu = 1$ .

Длина факела определяется в соответствии с формулой (П4.71), значение эмпирического коэффициента  $K$  в которой принимается равным  $K = 15$ , для величины расхода продукта равной  $G = G_l$  и диаметра истечения 50 мм, что составляет  $G = 23,5 \text{ кг/с}$ , в результате чего величина длины факела составляет  $L_f = 53 \text{ м}$ .

#### *Пожар-вспышка*

Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающей нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), при истечении СУГ из отверстия диаметром 50 мм определяется по формуле:

$$R_{\text{НКПР}} = 40 (G_l/u)^{0,5},$$

где  $G_l$  – массовая скорость истечения жидкой фазы СУГ в окружающее пространство для диаметра истечения 50 мм, кг/с, которая вычисляется по формуле (П4.16) и составляет  $G_l = 23,5 \text{ кг/с}$ ;  $u$  – скорость ветра на участке автодороги, на котором осуществляется транспортировка СУГ, м/с. В результате для истечения СУГ из отверстия диаметром 50 мм  $R_{\text{НКПР}} = 137 \text{ м}$ .

Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих НКПР, при полном разрушении автомобильной цистерны определяется по формуле (П4.32) и составляет  $R_{\text{НКПР}} = 115$  м.

Радиус воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке  $R_F$  определяется в соответствии с формулой (П4.67) и составляет для случая истечения СУГ из отверстия диаметром 50 мм  $R_F = 165$  м, в то время как для случая полного разрушения автомобильной цистерны величина  $R_F$  составляет  $R_F = 138$  м.

#### *Огненный шар*

Величина интенсивности теплового излучения для случая реализации огненного шара определяется в соответствии с формулами (П4.52), (П4.63) и (П4.64).

3.8.6. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития осуществляется на основе сопоставления результатов моделирования динамики опасных факторов пожара на территории участка автодороги, на котором происходит транспортировка СУГ, и прилегающей к нему территории с данными о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара.

Для факельного горения принимаем, что непосредственное воздействие факельного горения на человека осуществляется в пределах области, размер которой определяется в соответствии с разд. 3.8.5 настоящего Пособия. Также принимаем согласно Прил. 6 к настоящему Пособию, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия факельного горения, принимается равной 1.

Согласно Прил. 6 к настоящему Пособию принимаем, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания

газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека равна нулю.

Для определения радиуса поражения огненным шаром принимаем критический уровень теплового излучения равным  $7 \text{ кВт/м}^2$ . Согласно Прил. 6 к настоящему Пособию это соответствует непереносимой боли через 20–30 с, ожогу 1-й степени – через 15–20 с, ожогу 2-й степени – через 30–40 с. В этом случае радиус поражения тепловым излучением огненного шара составляет 336 м.

Принимаем с определенным запасом надежности, что на расстояниях, меньших соответствующего радиуса поражения тепловым излучением огненного шара, условная вероятность поражения человека равна 1, а при расстояниях, которые больше указанного радиуса поражения, условная вероятность поражения человека равна нулю.

### 3.8.7. Вычисление расчетных величин пожарного риска.

#### *Потенциальный и индивидуальный пожарный риск вблизи автодороги*

Для расчета величин потенциального пожарного риска в различных точках территории рассматриваемого объекта проводился на основе полученных результатов определения частот реализации сценариев развития рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров и зон поражения характерными для них опасными факторами пожара и взрыва.

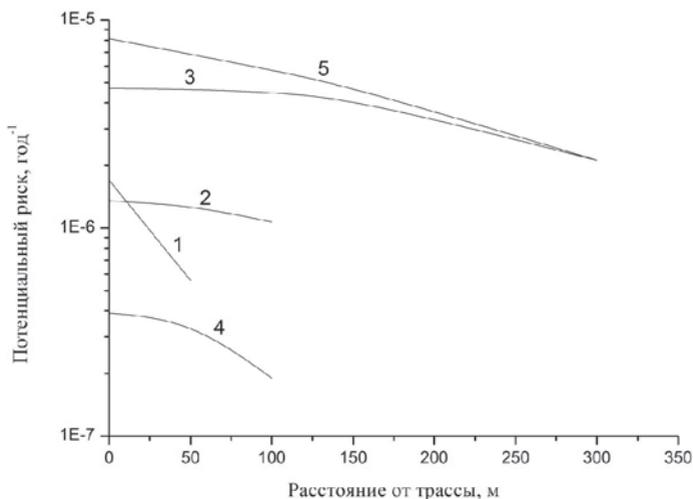
Для расчета потенциального пожарного риска транспортировки СУГ автомобильным транспортом по аналогии использована формула (13) для расчета потенциального пожарного риска при транспортировке жидкого продукта трубопроводом:

$$P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{X_{1jk}}^{X_{2jk}} Q_{\text{пор}jk}(x, r) dx,$$

где  $P(r)$  – значение потенциального риска на расстоянии  $r$  от автодороги, м; где  $\lambda_j(m)$  – удельная частота разгерметизации цистерны для  $j$ -го типа разгерметизации;  $K_0$  – число сценариев развития пожароопасной ситуации и/или пожара.

При этом в общем случае подлежат рассмотрению для каждого типа разгерметизации следующие сценарии: факельное горение, пожар пролива (для истечения жидкой фазы), пожар-вспышка, сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве, огненный шар; разрушение сосуда в очаге пожара;  $J_0$  – число рассматриваемых типов разгерметизации;  $Q_{jk}$  – условная вероятность реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) для  $j$ -го типа разгерметизации;  $Q_{порjk}(x, r)$  – условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии  $r$  от оси автодороги в результате реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), произошедшей на участке автодороги с координатой  $x$ , расположенной в пределах участка влияния  $k$ -го сценария развития пожара для  $j$ -го типа разгерметизации;  $x_{1jk}, x_{2jk}$  – координаты начала и окончания участка влияния. Границы участка влияния определяются для  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) из условия, что зона поражения опасными факторами пожара (взрыва) при аварии за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии  $r$  от автодороги.

На рис. 3.8.2 представлена зависимость потенциального пожарного риска от расстояния до автомобильной трассы. Видно, что основной вклад в величину пожарного риска дает огненный шар, причем на расстояниях более 100 м от автодороги его вклад существенно превышает вклады от остальных опасных факторов. Значения потенциального пожарного риска для расстояний от автодороги менее 300 м превышают  $10^{-6}$  год $^{-1}$ , то есть индивидуальный пожарный риск для населения, проживающего вблизи автодороги на указанных расстояниях, является недопустимым.



**Рис. 3.8.2. Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния до трассы для различных сценариев аварии:**

- 1 – факельное горение;
- 2 – пожар-вспышка при полном разрушении автомобильной цистерны;
- 3 – огненный шар;
- 4 – пожар-вспышка при истечении из отверстия диаметром 50 мм;
- 5 – суммарный потенциальный пожарный риск

### **3.9. Пример расчета для транспортировки опасных грузов железнодорожным транспортом**

На настоящем примере показан расчет обусловленного возможными пожарами при транспортировке СУГ железнодорожным транспортом величин пожарного риска.

#### **3.9.1. Описание объекта.**

В качестве транспортировки опасных грузов в настоящем примере рассматривается перевозка СУГ железнодорожным транспортом.

СУГ перевозится составом, состоящим из 10 железнодорожных вагонов-цистерн емкостью 54 м<sup>3</sup>. Масса СУГ, находящегося в каждом вагоне-цистерне, составляет  $m_{\Gamma} = 20 \cdot 10^3$  кг.

3.9.2. Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации.

*Физико-химические свойства транспортируемых железнодорожным транспортом опасных грузов*

Свойства сжиженного углеводородного газа (СУГ) принимались согласно данным, приведенным в Прил. 1 настоящего Пособия. При этом с определенным запасом надежности свойства СУГ принимались по пропану: формула –  $C_3H_8$ ; молярная масса –  $44 \cdot 10^{-3}$  кг · моль; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 2,0 % (об.). Критическое давление пропана составляет  $P_c = 41,9 \cdot 10^5$  Па, критическая температура –  $T_c = 369,8$  К.

Температура окружающей среды составляет  $T = 300$  К.

Температура транспортируемого СУГ составляет  $T = 300$  К.

Давление транспортируемого СУГ составляет  $P = 1,3 \cdot 10^6$  Па.

Плотность жидкой фазы СУГ составляет  $\rho_l = 485,5$  кг/м<sup>3</sup>, плотность паровой фазы СУГ –  $\rho_v = 17,74$  кг/м<sup>3</sup>.

Плотность паровой фазы пропана при температуре окружающей среды составляет  $\rho_r = 1,87$  кг/м<sup>3</sup>.

*Статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций*

Частота разгерметизации одного железнодорожного вагона-цистерны с СУГ в расчете на 1 км пройденного пути в течение года составляет  $\lambda = 5,1 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup> · км<sup>-1</sup>.

*Данные по метеорологическим условиям в районе местонахождения объекта*

Скорость ветра на участке следования железнодорожного состава с вагонами-цистернами с СУГ с определенным запасом надежности принимается  $u = 2$  м/с.

3.9.3. Анализ пожарной опасности транспортировки СУГ железнодорожным транспортом.

*Определение перечня пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития*

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров на рассматри-

ваемом объекте был использован метод логических деревьев событий.

Построение логического дерева событий, лежащего в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого объекта, осуществлялось исходя из следующих предпосылок:

1. рассматриваются два типа разгерметизации – истечение из отверстия диаметром 50 мм и полное разрушение железнодорожной вагона-цистерны с СУГ;
2. среди опасных факторов пожара рассматриваются наиболее характерные явления: факельное горение, пожар-вспышка и огненный шар.

На рис. 3.9.1 представлено дерево событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций и пожаров, на основе которого проводились расчеты по оценке пожарного риска для случая транспортировки СУГ железнодорожным транспортом.



**Рис. 3.9.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией железнодорожного вагона-цистерны с СУГ**

3.9.4. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.

С учетом того, что в рассматриваемом железнодорожном составе находится 10 вагонов-цистерн, то частота разгерметизации железнодорожного вагона-цистерны с СУГ, находящегося в данном составе, в расчете на 1 км пройденного составом пути в течение года составляет  $5,1 \cdot 10^{-8} \cdot 10 = 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$ .

3.9.5. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в Прил. 4 к настоящему Пособию.

При этом согласно п. 16 Методики [1] для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров учитываются следующие опасные факторы пожара:

- а) непосредственное воздействие пламени факельного горения и тепловое излучение при огненном шаре;
- б) расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

#### *Факельное горение*

Рассматриваем горизонтальный факел, условная вероятность реализации которого согласно Прил. 4 к настоящему Пособию составляет 0,67. Область воздействия факельного горения по координате  $x$ , которая соответствует трассе прохождения железнодорожного состава с СУГ, описывается выражением:

$$x_2 - x_1 = \begin{cases} 2\sqrt{L_f^2 - r^2} & \text{при } L_f \geq r \\ 0 & \text{при } L_f < r, \end{cases}$$

где  $L_f$  – длина факела, м;  $r$  – расстояние от трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ, м;  $x_1, x_2$  – координаты начала и окончания участка влияния, м. Границы участка влияния определяются из условия, что зона поражения опасными факторами пожара при реализации аварии на участке трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии  $r$  от указанной трассы.

Для определения длины факела принимаем, что истекает жидкая фаза СУГ. Это соответствует наиболее опасному случаю. Величины расходов паровой и жидкой фаз СУГ определяются в соответствии с формулами (П4.15) и (П4.16) и составляют  $G_v = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  (расход паровой фазы СУГ),  $G_l = 6,6 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  (расход жидкой фазы СУГ) для величины коэффициента истечения  $\mu = 1$ .

Длина факела определяется в соответствии с формулой (П4.71), значение эмпирического коэффициента  $K$  в которой принимается равным  $K = 15$ , для величины расхода продукта равной  $G = G_l$  и диаметра истечения 50 мм, что составляет  $G = 23,5 \text{ кг/с}$ , в результате чего величина длины факела составляет  $L_f = 53 \text{ м}$ .

#### *Пожар-вспышка*

Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающей НКПР, при истечении СУГ из отверстия диаметром 50 мм определяется по формуле:

$$R_{\text{НКПР}} = 40 (G_l/u)^{0,5},$$

где  $G_l$  – массовая скорость истечения жидкой фазы СУГ в окружающее пространство для диаметра истечения 50 мм, кг/с, которая вычисляется по формуле (П4.16) и составляет  $G_l = 23,5 \text{ кг/с}$ ;  $u$  – скорость ветра на участке следования железнодорожного состава с вагонами-цистернами с СУГ, м/с. В результате для истечения СУГ из отверстия диаметром 50 мм  $R_{\text{НКПР}} = 137 \text{ м}$ .

Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих НКПР, при полном разрушении железнодорожного вагона-цистерны с СУГ определяется по формуле (П4.32) и составляет  $R_{\text{НКПР}} = 132 \text{ м}$ .

Радиус воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке  $R_F$  определяется в соответствии с формулой (П4.67) и составляет для случая истечения СУГ из отверстия диаметром 50 мм  $R_F = 165 \text{ м}$ , в то время как

для случая полного разрушения железнодорожного вагона-цистерны величина  $R_F$  составляет  $R_F = 158$  м.

#### *Огненный шар*

Величина интенсивности теплового излучения для случая реализации огненного шара определяется в соответствии с формулами (П4.52), (П4.63) и (П4.64).

3.9.6. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития осуществляется на основе сопоставления результатов моделирования динамики опасных факторов пожара на территории участка следования железнодорожного состава с вагонами-цистернами с СУГ, и прилегающей к нему территории с данными о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара.

Для факельного горения принимаем, что непосредственное воздействие факельного горения на человека осуществляется в пределах области, размер которой определяется в соответствии с разд. 3.9.5 настоящего Пособия. Также принимаем согласно Прил. 6 к настоящему Пособию, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия факельного горения, принимается равной 1.

Согласно Прил. 6 к настоящему Пособию принимаем, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека равна нулю.

Для определения радиуса поражения огненным шаром принимаем критический уровень теплового излучения равным  $7 \text{ кВт/м}^2$ . Согласно Прил. 6 к настоящему Пособию это соответствует непереносимой боли через 20–30 с, ожогу 1-й степени – через 15–20 с, ожогу 2-й степени – через 30–40 с.

В этом случае радиус поражения тепловым излучением огненного шара составляет 336 м.

Принимаем с определенным запасом надежности, что на расстояниях, меньших соответствующего радиуса поражения тепловым излучением огненного шара, условная вероятность поражения человека равна 1, а при расстояниях, больших указанного радиуса поражения, условная вероятность поражения человека равна нулю.

### 3.9.7. Вычисление расчетных величин пожарного риска.

Потенциальный и индивидуальный пожарный риск вблизи трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ.

При расчете величин потенциального пожарного риска в различных точках территории рассматриваемого объекта проводился на основе полученных результатов определения частот реализации сценариев развития рассматриваемых пожароопасных ситуаций и пожаров и зон поражения характерными для них опасными факторами пожара и взрыва.

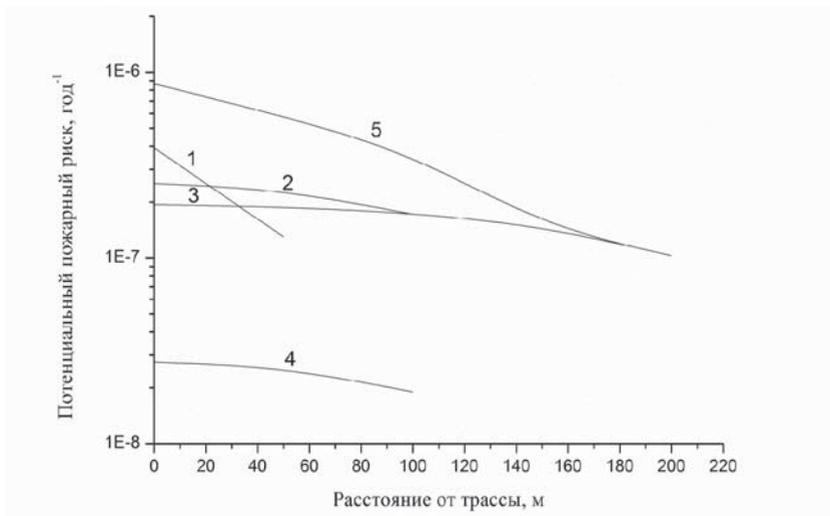
При расчете потенциального пожарного риска транспортировки СУГ железнодорожным транспортом по аналогии использована формула (13) для расчета потенциального пожарного риска при транспортировке жидкого продукта трубопроводом:

$$P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{X_{1jk}}^{X_{2jk}} Q_{\text{пор}jk}(x, r) dx,$$

где  $P(r)$  – значение потенциального риска на расстоянии  $r$  от трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ, м;  $\lambda_j(m)$  – удельная частота разгерметизации цистерны для  $j$ -го типа разгерметизации;  $K_0$  – число сценариев развития пожароопасной ситуации и/или пожара. При этом в общем случае подлежат рассмотрению для каждого типа разгерметизации следующие сценарии: факельное горение, пожар пролива (для истечения жидкой фазы), пожар-вспышка, сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве, огненный

шар; разрушение сосуда в очаге пожара;  $J_0$  – число рассматриваемых типов разгерметизации;  $Q_{jk}$  – условная вероятность реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) для  $j$ -го типа разгерметизации;  $Q_{\text{пор}/k(x, r)}$  – условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии  $r$  от оси трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ в результате реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), произошедшей на участке трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ с координатой  $x$ , расположенной в пределах участка влияния  $k$ -го сценария развития пожара для  $j$ -го типа разгерметизации;  $X_{1jk}, X_{2jk}$  – координаты начала и окончания участка влияния. Границы участка влияния определяются для  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) из условия, что зона поражения опасными факторами пожара (взрыва) при аварии за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии  $r$  от трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ.

На рис. 3.9.2 представлена зависимость потенциально-го пожарного риска от расстояния до трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ. Видно, что основной вклад в величину пожарного риска дает огненный шар, причем на расстояниях более 100 м от трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ его вклад существенно превышает вклады от остальных опасных факторов. Значение потенциального пожарного риска от проезда одного состава с 10 цистернами СУГ даже вблизи пути следования состава не превышает  $10^{-6}$  год $^{-1}$ .



**Рис. 3.9.2. Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния до трассы прохождения железнодорожного состава с СУГ для различных сценариев аварии:**

- 1* – факельное горение;
- 2* – пожар-вспышка при полном разрушении железнодорожного вагона-цистерны; *3* – огненный шар;
- 4* – пожар-вспышка при истечении из отверстия диаметром 50 мм;
- 5* – суммарный потенциальный пожарный риск

### **3.10. Пример расчета для производственного здания в случае применения индивидуальных средств защиты органов дыхания**

Рассматривается производственное здание, которое имеет одно производственное помещение площадью 100 м<sup>2</sup> и высотой 5 м. Основной пожарной нагрузкой в здании являются электрокабели.

Требуется определить расчетные величины потенциального пожарного риска в производственном помещении рассматриваемого здания и индивидуального пожарного риска для персонала, обслуживающего здание.

Расчет распространения опасных факторов пожара проводится с помощью полевой модели пожара в здании в соответствии с [15].

В рамках настоящего примера рассматриваются два сценария проектного пожара, характеризующиеся неприменением (сценарий № 1) и применением (сценарий № 2) персоналом, обслуживающим здание, средств индивидуальной защиты органов дыхания.

В рамках сценария № 2 проектного пожара рассматриваемое здание оснащено средствами индивидуальной защиты органов дыхания. Основные характеристики средства индивидуальной защиты органов дыхания приведены в табл. 3.10.1. При проведении расчетов пожарного риска принято, что применение средства индивидуальной защиты органов дыхания препятствует воздействию на людей оксида углерода и хлористого водорода, при этом время начала эвакуации людей при пожаре увеличивается на время, необходимое для приведения указанного средства в готовность.

*Таблица 3.10.1*

***Основные характеристики средства индивидуальной защиты органов дыхания***

Наименование характеристики	Значение
Время защитного действия, мин	Не менее 30
Защитные свойства	Защита от отравляющих веществ (оксид углерода, аммиак, сероводород, сероуглерод, хлор, бромистый водород, хлористый водород, формальдегид, фосген, хлорициан, хлорпикин, акролеин, фтор и др.)
Время приведения в готовность, с	15–20

3.10.1. Результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании.

*Сценарий № 1.* Очаг пожара возникает в производственном помещении. Происходит возгорание электрокабелей. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему

объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара ими блокируются эвакуационные выходы из помещения.

Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении определяется с определенным запасом надежности согласно табл. П2.4 настоящего Пособия как для электростанций равной  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ , что в расчете на всю площадь помещения составляет  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \text{ м}^2 = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

Параметры для расчета по полевой модели принимаем следующими [10]:

- низшая теплота сгорания 25,0 МДж/кг;
- удельная скорость выгорания 0,0244 кг/(м<sup>2</sup> · с);
- дымообразующая способность 635 Нп · м<sup>2</sup>/кг;
- потребление кислорода O<sub>2</sub> 2,19 кг/кг;
- коэффициент полноты сгорания 0,95.

Выделение газа:

- углекислого газа CO<sub>2</sub> 0,398 кг/кг;
- угарного газа CO 0,109 кг/кг;
- хлористого водорода HCl 0,0245 кг/кг.

Результаты расчета времени блокирования эвакуационного выхода из производственного помещения опасными факторами пожара по полевой модели приведены в табл. 3.10.2.

*Таблица 3.10.2*

**Результаты блокирования эвакуационных выходов  
в производственном помещении**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	215
по потере видимости	130
по пониженному содержанию кислорода	479
по $X_{\text{CO}_2}$	Не достигается в течение 600 с
по $X_{\text{CO}}$	Не достигается в течение 600 с
по $X_{\text{HCl}}$	98

Расчетное время эвакуации из производственного помещения непосредственно наружу составляет  $t_{pij} = 1,33 \text{ мин} = 80 \text{ с}$ . Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н.эij}$  принимаем как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.пij} = 0,001$ , так как выполнено условие

$$t_{pij} = 80 \text{ с} \geq 0,8 \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 98 = 78 \text{ с}.$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.виj}$  через аварийные выходы равной  $P_{д.виj} = 0,001$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{эij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij})(1 - P_{д.виj}) = 1,99 \cdot 10^{-3}.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij})(1 - D_{ij}) = 0,998.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j Q_{dij} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,998 = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

**Сценарий № 2.** Очаг пожара возникает в производственном помещении. Происходит возгорание электрокабелей. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются эвакуационные выходы из помещения.

Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении определяется с определенным запасом надежности согласно табл. П2.4 настоящего Пособия как для электростанций равной  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ , что в расчете на всю площадь помещения составляет  $Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \text{ м}^2 = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

Параметры для расчета по полевой модели принимаем следующими [10]:

- низшая теплота сгорания 25,0 МДж/кг;
- удельная скорость выгорания 0,0244 кг/(м<sup>2</sup> · с);
- дымообразующая способность 635 Нп · м<sup>2</sup>/кг;
- потребление кислорода O<sub>2</sub> 2,19 кг/кг;
- коэффициент полноты сгорания 0,95.

Выделение газа:

- углекислого газа CO<sub>2</sub> 0,398 кг/кг;
- угарного газа CO 0,109 кг/кг;
- хлористого водорода HCl 0,0245 кг/кг.

Результаты расчета времени блокирования эвакуационного выхода из производственного помещения опасными факторами пожара с учетом использования средств индивидуальной защиты органов дыхания по полевой модели приведены в табл. 3.10.3.

Таблица 3.10.3

**Результаты блокирования эвакуационных выходов  
в производственном помещении**

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	215
по потере видимости	130
по пониженному содержанию кислорода	479
по X <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Не достигается в течение 600 с

Расчетное время эвакуации из производственного помещения непосредственно наружу составляет  $t_{pij} = 1,33 \text{ мин} = 80 \text{ с}$ .  
Время от начала пожара до начала эвакуации людей  $\tau_{н,эij}$  при-

нимаем как для помещения очага пожара с учетом времени, необходимого для приведения средства индивидуальной защиты органов дыхания в готовность, равным 20 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет  $P_{э.п.ij} = 0,999$ , так как выполнено условие

$$t_{р.ij} + \tau_{н.э.ij} = 100 \text{ с} \leq 0,8 \tau_{б.л.ij} = 0,8 \cdot 130 = 104 \text{ с.}$$

Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{д.в.ij}$  через аварийные выходы равной  $P_{д.в.ij} = 0,001$ . Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении  $P_{э.ij}$ , согласно формуле (5) равна

$$P_{э.ij} = 1 - (1 - P_{э.п.ij})(1 - P_{д.в.ij}) = 0,999.$$

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого помещения  $D_{ij} = 0$ . В результате условная вероятность поражения человека  $Q_{dij}$  в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{э.ij})(1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3):

$$P_{ij} = Q_j Q_{dij} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

3.10.2. Результаты определения индивидуального пожарного риска для рассматриваемого здания.

Максимальное количество представителей персонала, находящегося в здании, составляет 150 чел. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта проводилось с учетом следующих обстоятельств:

- доля времени присутствия каждого конкретного работника из числа персонала на рассматриваемом объекте не пре-

вышает 40 ч в неделю. С учетом времени, проводимом конкретным работником в отпуске (4 недели в год), доля времени его пребывания на объекте составляет около 0,2 в течение года.

Результаты расчета индивидуального пожарного риска для работников объекта для двух рассматриваемых сценариев проектного пожара приведены в табл. 3.10.4 и 3.10.5.

*Таблица 3.10.4*

***Результаты расчета индивидуального пожарного риска для работников рассматриваемого объекта для сценария № 1 проектного пожара***

Наименование профессии	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника при его пребывании в данном помещении, год <sup>-1</sup>
Работник здания	0,2	$4,4 \cdot 10^{-4}$

*Таблица 3.10.5*

***Результаты расчета индивидуального пожарного риска для работников рассматриваемого объекта для сценария № 2 проектного пожара***

Наименование профессии	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника при его пребывании в данном помещении, год <sup>-1</sup>
Работник здания	0,2	$4,4 \cdot 10^{-7}$

3.10.3. Вывод об условиях соответствия рассматриваемого здания требованиям пожарной безопасности.

Как видно из табл. 3.10.4, значение индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта при реализации сценария № 1 проектного пожара превышает предельно допустимое нормативное значение индивидуального пожарного риска для персонала производственного объекта, равное  $R_m^n = 10^{-6}$  год<sup>-1</sup> и является недопустимым.

Как видно из табл. 3.10.5, значение индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта при

реализации сценария № 2 проектного пожара не превышает предельно допустимое нормативное значение индивидуального риска для персонала производственного объекта, равное  $R_m^H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$  и является допустимым.

Нормативное значение индивидуального пожарного риска для персонала рассматриваемого объекта составляет  $R_m^H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ , так как указанный объект не относится к объектам, перечисленным в разд. 1.5 настоящего Пособия, для которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П.1

Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	НКПР пламени, % (об), С <sub>нигр</sub> <sup>НКПР</sup> для ГП	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>A</sub>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Алюминий	Al	26,980	–	320	–	–	–	–	40,00	ГП	31097
2	Амилацетат	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130,196	+43	+290	6,293500	1579,510	221,365	25÷147	1,08	ЛВЖ	29879
3	Амилен	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,134	<–18	+273	5,910480	1014,294	229,783	–60÷100	1,49	ЛВЖ	45017
4	н-Амиловый спирт	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88,149	+48	+300	6,307300	1287,625	161,330	74÷157	1,46	ЛВЖ	38385
5	Аммиак	NH <sub>3</sub>	17,030	–	+650	–	–	–	–	15,00	ГГ	18585
6	Анилин	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93,128	+73	+617	6,046220	1457,020	176,195	35÷184	1,30	ГЖ	32386
7	Ацетальдегид	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	44,053	–40	+172	6,316530	1093,537	233,413	–80÷20	4,12	ЛВЖ	27071
8	Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,038	–	+335	–	–	–	–	2,50	ГГ (ВВ)	49965
9	Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58,080	–18	+535	6,375510	1281,721	237,088	–15÷93	2,70	ЛВЖ	31360
10	Бензиловый спирт	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,150	+90	+415	–	–	–	–	1,30	ГЖ	–

Продолжение табл. III.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	Бензол	$C_6H_6$	78,113	-11	+560	5,613910 6,109060	902,275 1252,776	178,099 225,178	-20÷6 -7÷80	1,43	ЛВЖ	40576
12	Бензойная кислота	$C_7H_6O_2$	122,120	-	+532	8,7032130	2792,832	230,470	-	20,00	ГП	26007
13	1,3-Бутадиен	$C_4H_6$	54,091	-	+430	-	-	-	-	2,00	ГГ	44573
14	н-Бутан	$C_4H_{10}$	58,123	-69	+405	6,005250	968,098	242,555	-130÷0	1,80	ГГ	45713
15	Бутаналь (масляный альдегид)	$C_4H_8O$	72,100	-7	+230	7,083930	1768,400	273,000	-15÷80	1,80	ЛВЖ	32399
16	1-Бутен	$C_4H_8$	56,107	-	+384	-	-	-	-	1,60	ГГ	45317
17	2-Бутен	$C_4H_8$	56,107	-	+324	-	-	-	-	1,80	ГГ	45574
18	н-Бутилэцетат	$C_6H_{12}O_2$	116,160	+29	+330	6,252050	1430,418	210,745	59÷126	1,35	ЛВЖ	28280
19	втор-Бутилэцетат	$C_6H_{12}O_2$	116,160	+19	+410	-	-	-	-	1,40	ЛВЖ	28202
20	н-Бутиловый спирт	$C_4H_{10}O$	74,122	+35	+340	8,722320	2664,684	279,638	-1÷126	1,80	ЛВЖ	36805
21	Винилхлорид	$C_2H_3Cl$	62,499	-	+470	6,016100	905,008	239,475	-65÷-13	3,60	ГГ	18496
22	Водород	$H_2$	2,016	-	+510	-	-	-	-	4,12	ГГ	119841
23	Галловая кислота	$C_7H_6O_5$	170,13	-	+407 (аэро-геля)	-	-	-	-	130,00	ГП	16516
24	н-Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	226,440	+128	+207	5,912420	1656,405	136,869	105÷287	0,47	ГЖ (ГПВ)	44312
25	н-Гексан	$C_6H_{14}$	86,177	-23	+233	5,995170	1166,274	223,661	-54÷-69	1,24	ЛВЖ	45105

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26	Гексаналь (капроновый альдегид)	$C_6H_{12}O$	100,160	+32	-	-	-	-	-	1,30	ЛВЖ	35573
27	n-Гексиловый спирт	$C_6H_{14}O$	102,170	+60	+285	6,178940 7,236630	1293,831 1872,743	152,631 202,666	52÷157 60÷108	1,20	ЛВЖ	39587
28	Гептан	$C_7H_{16}$	100,203	-4	+223	6,076470	1295,405	219,819	60÷98	1,07	ЛВЖ	44919
29	Гептаналь (гептиловый альдегид)	$C_7H_{14}O$	-	+43	-	-	-	-	-	1,10	ЛВЖ	-
30	Гидразин	$N_2H_4$	32,045	+38	+132	7,998050	2266,447	266,316	84÷112	4,70	ЛВЖ (ВВ)	14644
31	Глицерин	$C_3H_8O_3$	92,100	+198	+400	8,177393	3074,220	214,712	141÷263	2,60	ГЖ	16102
32	Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	180,100	-	+367 (аэро- геля)	-	-	-	-	35,00	ГП	15563
33	Графит	C	12,001	-	+540- 600 (аэро- геля)	-	-	-	-	-	ГП	3,3·10 <sup>7</sup>
34	Декан	$C_{10}H_{22}$	142,280	+47	+230	6,520230	1809,975	227,700	17÷174	0,70	ЛВЖ	44602
35	Деканаль (каприновый альдегид)	$C_{10}H_{20}O$	142,280	+86	+175	6,930090	2056,406	216,600	81÷369	0,75	ГЖ	42346
36	Дециловый спирт (1 - деканол)	$C_{10}H_{22}O$	158,280	+110	+250	5,846380	1366,062	124,641	27÷255	0,70	ГЖ	42188

Продолжение табл. III.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
37	Дивинилловый эфир	$C_4H_6O$	70,100	-30	+360	-	-	-	-	1,70	ЛВЖ	32610
38	N,N-Диметилформамид	$C_3H_7ON$	73,100	+53	+440	6,159390	1482,985	204,342	25÷153	2,35	ЛВЖ	-
39	1,4-Дюксан	$C_4H_8O_2$	88,100	+11	+375	6,640910	1632,425	250,725	12÷101	2,00	ЛВЖ	-
40	1,2-Дихлорэтан	$C_2H_4Cl_2$	98,960	+9	+413	6,786150	1640,179	259,715	-24÷83	6,20	ЛВЖ	10873
41	Диэтиламин	$C_4H_{11}N$	73,140	-14	+310	6,347940	1267,557	236,329	-33÷59	1,78	ЛВЖ	34876
42	Диэтиловый эфир	$C_4H_{10}O$	74,120	-41	+180	6,122700	1098,945	232,372	-60÷35	1,70	ЛВЖ	34147
43	n-Додекан	$C_{12}H_{26}$	170,337	+77	+202	7,295740	2463,739	253,884	48÷214	0,63	ГЖ	44470
44	Железо	Fe	56,00	-	+300-940 (аэро-взвеси)	-	-	-	-	100,00-875,00	ГП	7450
45	Изобутан	$C_4H_{10}$	58,123	-76	+462	5,953180	916,054	243,783	-159÷12	1,81	ГТ	45578
46	Изобутилен	$C_4H_8$	56,110	-	+465	-	-	-	-	1,78	ГТ	45928
47	Изобутиловый спирт	$C_4H_{10}O$	74,120	+28	+390	7,830050	2058,392	245,642	-9÷116	1,80	ЛВЖ	36743
48	Изопентан	$C_5H_{12}$	72,150	-52	+432	5,917990	1022,551	233,493	-83÷28	1,36	ЛВЖ	45239
49	Изопропилбензол	$C_9H_{12}$	120,200	+37	+424	6,067560	1461,643	207,560	2,9÷152,4	0,88	ЛВЖ	46663
50	Изопропиловый спирт	$C_3H_8O$	60,090	+14	+430	7,510550	1733,000	232,380	-26÷148	2,23	ЛВЖ	34139

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
51	Кальций	Ca	40,080	-	+730-750 (аэро-геля)	-	-	-	-	-	ГП	15800
52	m-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,170	+28	+530	6,133290	1461,925	215,073	-20÷220	1,10	ЛВЖ	52829
53	o-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,170	+31	+460	6,288930	1575,114	223,579	-3,8÷144,4	1,00	ЛВЖ	41217
54	p-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,170	+26	+528	6,254850	1537,082	223,608	-8,1÷138,3	1,10	ЛВЖ	41207
55	Магний	Mg	24,320	-	+420-440	-	-	-	-	25,00	ГП	25000
56	Метан	CH <sub>4</sub>	16,040	-	+537	5,689230	380,224	264,804	-182÷-162	5,28	ГГ	50000
57	Метиловый спирт	CH <sub>4</sub> O	32,040	+6	+440	7,352700	1660,454	245,818	-10÷90	6,98	ЛВЖ	23839
58	Метилпропилкетон	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86,133	+6	+452	6,989130	1870,400	273,200	-17÷103	1,49	ЛВЖ	33879
59	Метилэтилкетон	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72,107	-6	-	7,024530	1292,791	232,340	-48÷-80	1,90	ЛВЖ	-
60	Нафталин	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,060	+80	+520	9,679440 6,797800	3123,337 2206,690	243,569 245,127	0÷80 80÷159	0,90	ТГВ	39435
61	n-Нонан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128,257	+31	+205	6,177760	1510,695	211,502	2÷150	0,78	ЛВЖ	44684
62	Нонилловый спирт	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> O	144,260	+96	+260	5,800680	1276,626	123,101	92÷213,6	0,80	ГЖ	42312
63	Оксид углерода	CO	28,010	-	+605	-	-	-	-	12,50	ГГ	10104
64	Оксид этилена	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,050	-18	+430	-	-	-	-	3,20	ГГ (ВВ)	27696

Продолжение табл. III.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
65	н-Октан	$C_8H_{18}$	114,230	+14	+215	6,093960	1379,556	211,896	-14÷126	0,90	ЛВЖ	44787
66	Октаналь (каприловый альдегид)	$C_8H_{16}O$	128,220	+52	-	6,702440	1815,764	218,605	57÷342	0,96	ЛВЖ	37381
67	н-Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	212,420	+115	+203	6,067300	1739,084	157,545	92÷270	0,50	ГЖ	44342
68	Пенополи- уретан	-	-	-	+450	-	-	-	-	30,00	ГП	24850- 27360
69	н-Пентан	$C_5H_{12}$	72,150	-44	+286	5,972080	1062,555	231,805	-50÷36	1,47	ЛВЖ	45350
70	Пентаналь (валериано- вый альде- гид)	$C_5H_{10}O$	86,130	+12	+230	6,455450	1460,272	225,175	5÷250	1,64	ЛВЖ	34227
71	γ-Пиколин	$C_6H_7N$	93,128	+39	+578	6,443820	1632,315	224,787	70÷145	1,40	ЛВЖ	36702
72	Пиридин	$C_5H_5N$	79,100	+20	+530	5,916840	1217,730	196,342	-19÷116	1,80	ЛВЖ	35676
73	Полипропи- лен	$(C_3H_6)_n$	-	-	+325- 388 (аэро- геля)	-	-	-	-	40,00	ГП	44000
74	Полиэтилен	$(C_2H_4)$	-	-	+380 (аэро- геля)	-	-	-	-	20,00	ГП	46590
75	Пропан	$C_3H_8$	44,096	-96	+470	5,955470	813,864	248,116	-189÷-42	2,00	ГГ	46353
76	Пропаналь (пропиональ- дегид)	$C_3H_6O$	58,080	-20	+227	6,065730	1163,288	231,170	-64÷52	2,50	ЛВЖ	31267

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
77	Пропилен	$C_3H_6$	42,080	-	+455	5,948520	786,532	247,243	-107,3÷ -47,1	2,40	ГГ	45604
78	н-Пропиловый спирт	$C_3H_8O$	60,090	+23	+371	7,442010	1751,981	225,125	0÷97	2,30	ЛВЖ	34405
79	Сахар (сахароза)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342,300	-	+220 (аэро- геля)	-	-	-	-	35,00- 58,00	ГП	16490
80	Сера	S	256,500	-	+260 (аэро- геля)	-	-	-	-	37,50	ГП	9210
81	Сероводород	$H_2S$	34,076	-	+246	-	-	-	-	4,30	ГГ	-
82	Сероуглерод	$CS_2$	76,140	-43	+102	6,125370	1202,471	245,616	-15÷80	1,00	ЛВЖ	14020
83	Стирол	$C_8H_8$	104,140	+30	+490	7,065420	2113,057	272,986	-7÷146	1,10	ЛВЖ	43888
84	Тетрагидрофуран	$C_4H_8O$	72,100	-20	+250	6,120080	1202,290	226,254	23÷100	1,80	ЛВЖ	34730
85	н-Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	198,390	+103	+201	6,400070	1950,497	190,513	76÷254	0,50	ГЖ	44377
86	Толуол	$C_7H_8$	92,140	+7	+535	6,050700	1328,171	217,713	-26,7÷110,6	1,27	ЛВЖ	40936
87	н-Гридекан	$C_{13}H_{28}$	184,360	+90	+204	7,093880	2468,910	250,310	59÷236	0,58	ГЖ	44424
88	2,2,4-Триметилпентан	$C_8H_{18}$	114,230	-4	+411	5,936820	1257,840	220,735	-60÷175	1,00	ЛВЖ	44647
89	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	60,050	+40	+465	7,103370	1906,530	255,973	-17÷118	4,00	ЛВЖ	13097
90	н-Ундекан	$C_{11}H_{24}$	156,310	+62	+205	6,805010	2102,959	242,574	31÷197	0,60	ГЖ	44527

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
91	Формальде- гид	CH <sub>2</sub> O	30,030	-	+430	5,409730	607,399	197,626	-19÷60	7,00	ГГ	19007
92	Фталевый анидрид	C <sub>8</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub>	148,100	+153	+580	7,124390	2879,067	277,501	134÷285	1,70 (1,5 г·мг <sup>-3</sup> )	ГГВ	-
93	Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112,560	+29	+637	6,386050	1607,316	235,351	-35÷132	1,40	ЛВЖ	27315
94	Хлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	64,510	-50	+510	6,111400	1030,007	238,612	-56÷12	3,80	ГГ	19392
95	Циклогексан	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,160	-17	+259	5,969910	1203,526	222,863	6,5÷200	1,30	ЛВЖ	43833
96	Цинк	Zn	65,400	-	+440 (аэро- геля)	-	-	-	-	250,00	ГП	5020
97	Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,069	-	+515	-	-	-	-	2,90	ГГ	52413
98	Этилацетат	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88,100	-3	+446	6,226720	1244,951	217,881	15÷75,8	2,00	ЛВЖ	23587
99	Этилбензол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,160	+20	+431	6,358790	1590,660	229,581	-9,8÷136,2	1,00	ЛВЖ	41323
100	Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,050	-	+435	-	-	-	-	2,70	ГГ	46988
101	Этиленгли- коль	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	62,068	+111	+412	8,137540	2753,183	252,009	53÷198	4,29	ГЖ	19329
102	Этиловый спирт	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46,070	+13	+400	7,811580	1918,508	252,125	-31÷78	3,60	ЛВЖ	30562
103	Этилцелло- зольв	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	90,100	+40	+235	7,866260	2392,560	273,150	20÷135	1,80	ЛВЖ	26382

Таблица П1.2  
Значения показателей пожарной опасности некоторых смесей и технических продуктов

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг · моль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	ЕКПР, С <sub>НКПР</sub> <sup>10</sup> % (об.) (г/м <sup>3</sup> для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>A</sub>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C <sub>7,267</sub> H <sub>14,796</sub>	102,20	-34	300	7,54424	2629,650	384,195	-40±100	0,79	ЛВЖ	44094,0
2	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,991</sub> H <sub>13,108</sub>	97,20	-36	-	4,19500	682,876	222,066	-60÷85	1,08	ЛВЖ	44239,0
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>7,024</sub> H <sub>13,706</sub>	98,20	-36	-	4,12311	664,976	221,695	-60÷95	1,06	ЛВЖ	43641,0
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,911</sub> H <sub>12,168</sub>	95,30	-37	-	4,26511	695,019	223,220	-60÷90	1,10	ЛВЖ	43641,0
5	Дизельное топливо "З" (ГОСТ 305-73)	C <sub>12,343</sub> H <sub>23,889</sub>	172,30	>+35	+225	5,07818	1255,730	199,523	40÷210	0,61	ЛВЖ	43590,0

Продолжение табл. ПЛ.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	Дизельное топливо «Д» (ГОСТ 305-73)	$C_{14,511} H_{29,120}$	203,60	>+40	+210	5,00109	1314,040	192,473	60÷240	0,52	ЛВЖ	43419,0
7	Древесностружечная пыль	—	—	—	—	—	—	—	—	60,00	ГП	14000,0- 17000,0
8	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	$C_{13,595} H_{26,860}$	191,70	>+40	+227	4,82177	1211,730	194,677	40÷240	0,55	ЛВЖ	43692,0
9	Керосин осветительный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	$C_{10,914} H_{21,832}$	153,10	>+40	+245	5,59599	1394,720	204,260	40÷190	0,64	ЛВЖ	43692,0
10	Керосин осветительный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	$C_{11,054} H_{21,752}$	154,70	>+40	+236	5,12496	1223,850	203,341	40÷190	0,66	ЛВЖ	43692,0
11	Ксилол (смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	$C_8 H_{10}$	106,17	+29	+490	6,17972	1478,160	220,535	0÷50	1,10	ЛВЖ	43154,0
12	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	$C_{10,5} H_{21,0}$	147,30	>+33	+250	7,13623	2218,300	273,150	20÷80	0,70	ЛВЖ	43966,0
13	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	$C_{21,74} H_{42,28} S_{0,04}$	303,90	>+135	+270	6,88412	2524,170	174,010	164÷343	0,29	ГЖ	43111,0
14	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	$C_{22,25} H_{33,48} S_{0,34} N_{0,07}$	312,90	>+170	+290	6,12439	2240,001	167,850	170÷376	0,20	ГЖ	42257,0
15	Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	$C_{19,04} H_{24,58} S_{0,196} N_{0,04}$	260,30	>+189	+334	5,62020	2023,770	164,090	171÷396	0,20	ГЖ	41778,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	Мука пшеничная	-	-	-	-	-	-	-	-	10,00- 35,00	ГП	16807,0
17	Мука ржаная	-	-	-	-	-	-	-	-	27,00	ГП	16740,0
18	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	C <sub>8,452</sub> H <sub>7,606</sub> O <sub>0,535</sub>	81,70	-7	+550	6,29685	1373,667	242,828	-15÷100	1,65	ЛВЖ	40936,0
19	Растворитель Р-4 (ксилол-15, толуол-70, ацетон-15)	C <sub>6,231</sub> H <sub>7,798</sub> C <sub>0,223</sub>	86,30	-4	-	6,27853	1415,199	244,752	-15÷100	1,38	ЛВЖ	43154,0
20	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	C <sub>5,309</sub> H <sub>8,655</sub> O <sub>0,897</sub>	86,80	-9	-	6,30343	1378,851	245,039	-15÷100	1,57	ЛВЖ	43154,0
21	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	C <sub>6,837</sub> H <sub>9,217</sub> O <sub>0,515</sub>	99,60	+10	-	6,17297	1403,079	221,483	0÷100	1,26	ЛВЖ	43154,0
22	Растворитель М (н-бутилацетат-30, этилацетат-5, этиловый спирт-60, изобутиловый спирт-5)	C <sub>2,761</sub> H <sub>7,147</sub> O <sub>1,187</sub>	59,36	+6	+397	8,05697	2083,566	267,735	0÷50	2,79	ЛВЖ	36743,0

Продолжение табл. П1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
23	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол-10, этиловый спирт-64, н-бутиловый спирт-10, этилцеллозольв-16)	C <sub>2,645</sub> H <sub>6,810</sub> O <sub>1,038</sub>	55,24	+10	+374	8,69654	2487,728	290,920	0÷50	2,85	ЛВЖ	40936,0
24	Растворитель РМЛ-218 (МРТУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат-9, ксилол-21, 5, толуол-21, 5, этиловый спирт-16, н-бутиловый спирт-3, этилцеллозольв-13, этилацетат-16)	C <sub>4,791</sub> H <sub>8,318</sub> O <sub>0,974</sub>	81,51	+4	+399	7,20244	1761,043	251,546	0÷50	1,72	ЛВЖ	43154,0
25	Растворитель РМЛ-315 (ТУ 6-10-1013-70) (н-бутилацетат-18, ксилол-25, толуол-25, н-бутиловый спирт-15, этилцеллозольв-17)	C <sub>5,962</sub> H <sub>9,779</sub> O <sub>0,845</sub>	94,99	+16	+367	6,83653	1699,687	241,000	0÷50	1,25	ЛВЖ	43154,0

Окончание табл. ПП.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26	Сено	-	-		+180 (аэроге- ля)	-	-	-	-	200,00	ГП	16652,3
27	Табак	-	-	-	+230 (аэроге- ля)	-	-	-	-	41,00	ГП	17000,0- 19000,0
28	Торфяная пыль	-	-	-	+425	-	-	-	-	45,00	ГП	10440,0
29	Хлопок	-	-	-	+407 (аэроге- ля)	-	-	-	-	58,00	ГП	16300,0
30	Целлюлоза	-	-	-	+270 (аэроге- ля)	-	-	-	-	45,00- 88,00	ГП	26100,0
31	Шерсть	-	-	-	570-600	-	-	-	-	142,00	ГП	20502,0
32	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	$C_{10,5} H_{21,0}$	147,30	>+33	+250	7,13623	2218,300	273,150	20÷80	0,70	ЛВЖ	43966,0

Таблица ПП.3  
Значения показателей пожарной опасности по типовой нагрузке в помещениях

Материал	2	3	4	5	6	Выделение токсичных продуктов горения, кг/кг		
						CO <sub>2</sub>	CO	HCl
1						7	8	9
Верхняя одежда; ткани с ворсом (шерсть и нейлон)	23,3	129,0	0,0130	0,0840	3,70	0,47	0,0150	–
Резинотехнические изделия; резина, изделия из нее	36,0	850,0	0,0110	0,0180	2,99	0,42	0,0150	–
Каюта с синтетической отделкой; дерево, ткани и отделка	15,8	134,0	0,0150	0,0180	1,25	0,85	0,0430	0,0230
Мебель; дерево и облицовка (0,9+0,1)	14,4	84,0	0,0140	0,0150	1,29	1,55	0,0370	0,0036
Промтовары; текстильные изделия	16,7	61,0	0,0240	0,0070	2,56	0,88	0,0630	–
Кабельный подвал/поток; кабели АВВГ и АПВГ	30,7	521,0	0,0240	0,0070	2,19	0,65	0,1300	0,0200
Толуол	40,9	562,0	0,0480	–	3,10	3,68	0,1480	–
Ксилол	см. табл. П.1.1.2	402,0	0,0900	–	3,62	3,66	0,1480	–
Бензин	см. табл. П.1.1.2	256,0	0,0600	–	3,41	2,92	0,1750	–
Керосин	43,7	438,0	0,0480	–	3,34	2,92	3,3400	–
Дизельное топливо	см. табл. П.1.1.2	620,0	0,0430	–	3,37	3,16	0,1220	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радиоматериалы; полиэтилен, полистирол, полипропилен, гетинакс	34,8	381,0	0,0180	0,0140	3,31	0,76	0,1000	0,0073
Электротехнические материалы; текстолит, карболит	20,9	327,0	0,0076	0,0130	1,95	0,38	0,0560	0,0054
Турбинное масло (ТП-22)	41,9	243,0	0,0300	–	0,28	0,70	0,2800	–
Электрокабель АВВГ; ПВХ-оболочка и изоляция	25,0	635,0	0,0240	0,0070	2,19	0,40	0,1090	0,0250
Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка и полиэтилен	36,4	407,0	0,0240	0,0070	2,19	0,90	0,1500	0,0160
Телефонный кабель ТПВ; ПВХ и полиэтилен	34,6	556,0	0,0085	0,0022	2,19	0,90	0,1240	0,0160
Нефть	43,5–46,1	438,0	0,0400	–	3,24	3,10	0,1610	–
Ацетон	31,4	80,0	0,0440	–	2,22	2,29	0,2690	–
Этиловый спирт	30,6	80,0	0,0330	–	2,36	1,94	0,2690	–
Лесопильный цех; древесина	13,8	57,0	0,0150	0,0580	1,15	1,57	0,0240	–
Цех деревообработки; древесина	13,8	57,0	0,0150	0,0220	1,15	1,57	0,0240	–
Цех сушки древесины; древесина	13,8	57,0	0,0150	0,0380	1,15	1,57	0,0240	–
Производство фанеры; древесина и фанера (0,5+0,5)	16,1	81,0	0,0120	0,0190	1,18	1,06	0,0720	–

Продолжение табл. III.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Штабель древесины; хвойный и лиственный лес	13,8	57,0	0,0150	0,0590	1,15	1,57	0,0240	-
Хвойные древесные строительные материалы; штабель	13,8	61,0	0,0060	0,0590	1,15	1,57	0,0240	-
Лиственные древесные строительные материалы; штабель	13,8	53,0	0,0140	0,0590	1,15	1,57	0,0240	-
Клееные строительные материалы; фанера	18,4	104,0	0,0090	0,0170	1,21	0,54	0,1210	-
Сырье для легкой промышленности; хлопчатобумажный	16,4	0,6	0,0210	0,0450	2,30	0,57	0,0052	-
Сырье для легкой промышленности; лен разрыхленный	15,7	3,4	0,0210	0,0500	1,83	0,36	0,0039	-
Сырье для легкой промышленности; хлопок и капрон (0,75+0,25)	15,7	4,3	0,0130	0,0280	3,55	1,05	0,0120	-
Сырье для легкой промышленности; шерсть	21,8	164,0	0,0200	0,0280	1,76	0,72	0,0150	-
Пищевая промышленность; пшеница, рис, гречиха и мука из них	17,0	1096,0	0,0080	0,0050	0,97	0,81	0,1630	-
Сырье и изделия из синтетического каучука	43,0	212,0	0,0110	0,0140	2,99	1,41	0,1500	0,0050
Склад льноволокна	15,7	3,4	0,0210	0,0710	1,83	0,36	0,0040	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Склад хлопка в тюках	16,7	0,6	0,0170	0,0042	1,15	0,58	0,0052	–
Склад бумаги в рулонах	15,1	41,0	0,0080	0,0050	1,16	0,66	0,1080	–
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37,8	850,0	0,1920	0,0050	2,99	0,42	0,0150	–
Склад оргстекла (ПММА)	26,4	78,0	0,0040	0,0080	2,09	1,80	0,1270	–
Кабели и провода; 0,75 (АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25 (КПРТ, ПР, ШРПС)	33,5	612,0	0,0620	0,0054	2,39	0,66	0,1000	0,0140
Дерево и лакокрасочное покрытие; 0,95 · древесина + 0,05 (ФЛ + РХО)	13,9	64,0	0,0230	0,0150	1,19	0,72	0,0200	0,0005
Автомобиль; 0,3 (резина, бензин) + 0,15 × ППУ, искусственная кожа ПВХ) + 0,1 · эмаль	31,7	487,0	0,0230	0,0068	2,64	1,30	0,0970	0,0110
Упаковочная тара, древесина, картон, полистирол (0,5 + 0,25 + 0,25)	20,7	155,0	0,0180	0,0100	1,52	0,97	0,0940	0,0046
Упаковка; бумага, картон, полиэтилен и полистирол (0,4 + 0,3 + 0,15 + 0,15)	23,5	172,0	0,0130	0,0040	1,70	0,68	0,1120	0,0037
Индустриальное масло	42,7	480,0	0,0430	–	1,59	1,07	0,1220	–
Вешала текстильных изделий	16,7	61,0	0,0250	0,0078	2,56	0,88	0,0630	–

**Удельная массовая скорость выгорания некоторых веществ  
и материалов**

Вещества и материалы	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м <sup>2</sup> · с)
Бензол	0,0730
Бумага разрыхленная	0,0080
Бумага (книги, журналы)	0,0042
Волокно штапельное	0,0067
Волокно штапельное в кипах 40 × 40 × 40 см	0,0230
Диэтиловый эфир	0,0600
Древесина (бруски) влажность 13,7 %	0,0390
Древесина (мебель в зданиях при влажности 8–10 %)	0,0140
Изопропиловый спирт	0,0310
Изопентан	0,0100
Каучук СКС	0,0130
Каучук натуральный	0,0190
Книги на деревянных стеллажах	0,0170
Киноплёнка триацетатная	0,0090
Карболитовые изделия	0,0095
Лен разрыхленный	0,0210
Мазут	0,0350
Натрий металлический	0,0180
Органическое стекло	0,0160
Пенополиуретан	0,0028
Полистирол	0,0140
Полипропилен	0,0150
Полиэтилен	0,0100
Резина	0,0110
Текстолит	0,0067
Хлопок и капрон (3:1)	0,0130
Хлопок в тюках (плотность 190 кг · м <sup>-3</sup> )	0,0024
Хлопок разрыхленный	0,0210

**Низшая теплота сгорания некоторых веществ и материалов**

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
1	2
<b>Твердые материалы</b>	
<b>Бумага и производные</b>	
Бумага разрыхленная	13,400
Бумага (книги, журналы)	13,400
Картон	20,000
Книги на деревянных стеллажах	13,400
<b>Волокно штапельное</b>	
Волокно штапельное	14,000
Волокно штапельное в кипах 40 × 40 × 40 см	13,800
<b>Древесина и производные</b>	
ДВП	21,000
ДСП	18,000
Древесина	13,800
Древесина (бруски) влажность 13,7 %	13,800
Древесина (мебель в зданиях при влажности 8–10 %)	13,800
Древесина сосновая	18,700–20,800
Плита столярная	20,000
Фанера	22,000
<b>Каучук</b>	
Каучук натуральный	44,800
Каучук синтетический	40,000
Каучук СКС	43,900
Каучук хлоропреновый	27,990
<b>Кожа, кожзаменитель</b>	
Ледерин (кожзаменитель)	17,760
Кожа	21,000
<b>Линолеум</b>	
Линолеум	27,000
Линолеум масляный	20,970
Линолеум поливинилхлоридный	13,690–14,310
Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе	20,290
Линолеум поливинилхлоридный двухслойный	17,910
Линолеум поливинилхлоридный на войлочной основе	16,570
Линопор	19,710
<b>Пластмассы</b>	
Акрилонитрил-бутаген-стирол, АБС	35,000
Мипора	17,400
Пенополистирол (плиты)	41,000
Пенополиуретан	24,850–27,400

1	2
Поливинилхлорид, ПВХ	18,000–20,700
Полиизоцианурит и полиуретан	25,000
Полистирол	39,800–40,700
Полиэтилен	46,600
Полиэфир	30,000
<b>Уголь</b>	
Антрацит	33,900–34,800
Древесный уголь	33,900
Каменный уголь	30,000
<b>Хлопок</b>	
Ткань хлопковая, навал	17,000
Хлопок в тюках (плотность 190 кг · м <sup>-3</sup> )	16,800
Хлопок разрыхленный	15,700
Хлопок и капрон (3:1)	16,200
<b>Другие ткани</b>	
Капрон	31,090
Лен разрыхленный	15,700
Ткань шерстяная	23,000
Шелк	20,000
<b>Другие твердые материалы</b>	
Бумажнослоистый пластик	18,000
Карболитовые изделия	26,900
Кинопленка	19,000
Кинопленка триацетатная	18,800
Ковролин	15,397
Линкруст поливинилхлоридный	17,080
Обтирочный материал	15,700
Органическое стекло	27,700
Пробка	20,000
Резина	33,500
Солома	17,100
Стеклопластик	11,000
Текстолит	22,430
Торф кусковой	16,600
<b>Химические вещества</b>	
<b>Олефиновый ряд</b>	
Бутилен	45,000
<i>Краситель</i>	
Краситель 9–78 п/э	20,670
Краситель жировой 5С	33,180
Краситель фталоцианотен 4 “З” М	13,760
<b>Другие вещества</b>	
Канифоль	30,400
Натрий металлический	10,900

**Линейная скорость распространения пламени  
по поверхности материалов**

Материалы	Линейная скорость распространения пламени, м/с
Угары текстильного производства в разрыхленном состоянии	0,100
Корд	0,017
Хлопок разрыхленный	0,042
Лен разрыхленный	0,050
Хлопок + капрон (3:1)	0,028
Древесина в штабелях при различной влажности, при влажности (%):	
8–12	0,067
16–18	0,038
18–20	0,027
20–30	0,020
более 30	0,017
Подвешенные ворсистые ткани	0,067–0,100
Текстильные изделия в закрытом складе при загрузке 100 кг/м <sup>2</sup>	0,006
Бумага в рулонах в закрытом складе при загрузке 140 кг/м <sup>2</sup>	0,005
Синтетический каучук в закрытом складе при загрузке свыше 290 кг/м <sup>2</sup>	0,007
Деревянные покрытия цехов большой площади, деревянные стены и стены, отделанные древесно-волоконистыми плитами	0,028–0,053
Соломенные и камышитовые изделия	0,067
Ткани (холст, байка, бязь):	
по горизонтали	0,013
в вертикальном направлении	0,300
в нормальном направлении к поверхности тканей при расстоянии между ними 0,2 м	0,040

**Дымообразующая способность веществ и материалов**

Вещества и материалы	Дымообразующая способность, Нп · м <sup>2</sup> /кг
Бутиловый спирт	80,0
Этилацетат	330,0
Циклогексан	470,0
Древесина	23,0
Древесное волокно (береза, осина)	104,0
ДСП, ГОСТ 10632–77	90,0
Фанера, ГОСТ 3916–65	140,0
Сосна	145,0
Береза	160,0
Древесно-волоконная плита (ДВП)	130,0
Линолеум ПВХ, ТУ 21-29-76-79	270,0
Стеклопластик, ТУ 6-11-10-62-81	340,0
Полиэтилен, ГОСТ 16337–70	890,0
Табак «Юбилейный» I сорт, вл. 13 %	120,0
Пенопласт ПВХ-9, СТУ 14-07-41-64	1290,0
Пенопласт ПС-1-200	1000,0
Резина, ТУ 38-5-12-06-68	850,0
Полиэтилен высокого давления (ПЭФВ)	790,0
Пленка ПВХ марки ПДО-15	400,0
Пленка марки ПДСО-12	470,0
Лен разрыхленный	3,4
Ткань вискозная	63,0
Атлас декоративный	32,0
Репс	50,0
Ткань мебельная полушерстяная	116,0
Полотно палаточное	58,0

**Удельный выход (потребление) газов  
при горении веществ и материалов**

Вещество или материал	Удельный расход кислорода, кг/кг	Выделение газов, кг/кг		
		CO <sub>2</sub>	CO	HCl
Хлопок	0,0052	0,57	2,30	–
Лен	0,0039	0,36	1,83	–
Хлопок + капрон (3:1)	0,0120	1,05	3,55	–
Кабели АВВГ	0,1100	–	–	0,023
Кабели АПВГ	0,1500	–	–	0,016
Древесина	0,0240	1,51	1,15	–
Древесина, огнезащищенная препаратом СДФ-552	0,1200	1,96	1,42	–

Таблица III.9

**Перечень необходимых исходных данных для задания выделения дыма и токсичных газообразных продуктов горения в программном продукте FDS 6 на основе [20]**

	Справочные данные [10, 19]										Расчетные данные для FDS 6						«Базовый» материал	
	$H_f$	$D_m$	$L_{O_2}$	$L_{CO_2}$	$L_{CO}$	$L_{HCl}$	$H_f$	$V_C$	$V_{O_2}$	$V_{CO_2}$	$V_{CO}$	$V_{HCl}$	$V_{H_2O}$	$V_{H_2}$	Материал пожарной нагрузки, по которому определена молекулярная масса	$M_f$		
Пожарная нагрузка	МДж/кг	Нп · м <sup>2</sup> /кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	МДж/кг	Моль	Моль	Моль	Моль	Моль	Моль		г/моль			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>		
Здания I–II ст. огнест.; мебель + бытовые изделия	13,80	270,00	1,03	0,200	0,0020	0,0140	13,80	0,2251	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	Древесина	87,19355		
Здания I–II ст. огнест.; мебель + ткани	14,70	82,00	1,437	1,290	0,0020	0,0060	14,70	0,0684	3,9123	2,5437	0,0068	0,0143	5,4856	14,7177	Древесина	87,16459		
Здания III–IV ст. огнест.; мебель + бытовые изделия	13,80	270,00	1,03	0,200	0,0020	0,0140	13,80	0,2251	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	Древесина	87,19355		
Здания III–IV ст. огнест.; мебель + ткани	14,70	82,00	1,437	1,290	0,0020	0,0060	14,70	0,0684	3,9123	2,5437	0,0068	0,0143	5,4856	14,7177	Древесина	87,16459		
Здание I ст. огнест.; мебель + ткани (0,75 + 0,25)	14,90	58,50	1,437	1,320	0,0190	0,0000	14,90	0,0488	3,9123	2,6130	0,0600	0	5,2758	14,7177	Древесина	87,16236		
Здание III ст. огнест.; мебель + ткани (0,75 + 0,25)	14,90	58,50	1,437	1,320	0,0190	0,0000	14,90	0,0488	3,9123	2,6130	0,0600	0	5,2758	14,7177	Древесина	87,16236		

## Продолжение табл. III.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Кабинет; мебель + бумага (0,75 + 0,25)	14,00	53,00	1,161	0,640	0,0320	0,0000	14,00	0,0442	3,1609	1,2709	0,0986	0	7,1628	11,8910	Древе- сина	87,17929
Помещение, облицован- ное панелями; панели ДВП	18,10	130,00	1,15	0,690	0,0220	0,0000	18,10	0,1084	3,1309	1,3580	0,0669	0	6,9034	11,7783	Древе- сина	87,17672
Админ. помещение; мебель + бумага (0,75 + 0,25)	14,00	53,00	1,161	1,430	0,0430	0,0000	14,00	0,0442	3,1609	2,8387	0,1337	0	3,2782	11,8910	Древе- сина	87,14002
Обществ. здания; мебель + линолеум ПВХ (0,9 + 0,1)	14,00	47,70	1,369	1,480	0,0300	0,0060	14,00	0,0398	3,7272	2,9258	0,0933	0,0139	4,1091	14,0213	Древе- сина	87,15015
Библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах	14,50	49,50	1,154	1,110	0,0970	0,0000	14,50	0,0413	3,1418	2,1947	0,3029	0	4,5564	11,8193	Древе- сина	87,15314
Стеноческая часть зри- тельного зала; древесина	13,80	57,00	1,15	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0475	3,1309	3,1079	0,0746	0	2,6570	11,7783	Древе- сина	87,13357
Верхняя одежда: ворс. ткани (шерсть + нейлон)	23,30	129,00	3,698	0,470	0,0150	0,0000	23,30	0,1076	10,0680	0,9244	0,0451	0	20,3185	37,8749	Древе- сина	87,33290
Окрашенные полы, стены; дерево + краска РХО (0,9 + 0,1)	14,10	71,30	1,218	1,470	0,0350	0,0010	14,10	0,0594	3,3161	2,9099	0,1085	0,0024	3,4039	12,4747	Древе- сина	87,14178
Выст. зал, мастерская; дерево + ткани + краски (0,9 + 0,09 + 0,01)	14,00	53,00	1,218	1,420	0,0230	10 <sup>-4</sup>	14,00	0,0442	3,3161	2,8169	0,0715	0,0002	3,7033	12,4747	Древе- сина	87,14469
Издательства, типогра- фии	15,40	41,00	1,158	0,770	0,1690	0,0000	15,40	0,0342	3,1527	1,5262	0,5256	0,0000	5,8672	11,8602	Древе- сина	87,16675
Каюта с синтеп. отделкой; дерево + ткани + отделка	15,80	134,00	1,249	0,850	0,0430	0,0230	15,80	0,1113	3,4005	1,6727	0,1322	0,0550	6,3985	12,7922	Древе- сина	87,173

Продолжение табл. П.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Мебель, дерево + облицовка (0,9 + 0,1)	14,40	84,10	1,288	1,550	0,0370	0,0040	14,40	0,0701	3,5067	3,0683	0,1141	0,0086	3,3272	13,1917	Древесина	87,14166
Промтовары; текстильные изделия	16,70	60,60	2,560	0,880	0,0630	0,0000	16,70	0,0505	6,9697	1,7400	0,1947	0,0000	12,6284	26,2195	Древесина	87,24599
Лесопильный цех I-III ст. огнест.; древесина	13,80	57,00	1,150	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0475	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	Древесина	87,13357
Лесопильный цех IV-V ст. огнест.; древесина	13,80	57,00	1,150	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0475	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	Древесина	87,13357
Цех деревообработки; древесина	13,80	57,00	1,150	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0475	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	Древесина	87,13357
Цех сушки древесины; древесина	13,80	57,00	1,150	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0475	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	Древесина	87,13357
Производство фанеры; древесина + фанера (0,5 + 0,5)	16,10	80,50	1,177	1,060	0,0720	0,0000	16,10	0,0671	3,2045	2,0884	0,2239	0,0000	5,0329	12,0548	Древесина	87,15811
Штабель древесины; хвойный + лиственный лес	13,80	57,00	1,150	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0475	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	Древесина	87,13357
Хвойные древесные стройматериалы; штабель	13,80	61,00	1,150	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0509	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6548	11,7783	Древесина	87,13356
Лиственные древесные стройматериалы; штабель	13,80	53,00	1,150	1,570	0,0240	0,0000	13,80	0,0442	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6593	11,7783	Древесина	87,13358
Клееные стройматериалы; фанера	18,40	104,00	1,205	0,540	0,1210	0,0000	18,40	0,0867	3,2807	1,0690	0,3763	0,0000	7,4087	12,3416	Древесина	87,18266

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Сырье для легкой промышленности; хлопок разрыхл.	16,40	0,60	2,300	0,570	0,0050	0,0000	16,40	0,0005	6,2619	1,1283	0,0162	0,0000	13,1763	23,5566	Древесина	87,24904
Сырье для легкой промышленности; лен разрыхл.	15,70	3,37	1,830	0,360	0,0040	0,0000	15,70	0,0028	4,9823	0,7126	0,0121	0,0000	11,9237	18,7428	Древесина	87,23259
Сырье для легкой промышленности; хлопок + капрон (0,75 + 0,25)	15,70	4,30	3,550	1,050	0,0120	0,0000	15,70	0,0036	9,6651	2,0686	0,0373	0,0000	16,8891	36,3591	Древесина	87,29669
Сырье для легкой промышленности; шерсть	21,80	164,00	1,759	0,720	0,0150	0,0000	21,80	0,1367	4,7890	1,4154	0,0476	0,0000	9,7193	18,0157	Древесина	87,21016
Пищ. промышл.; пшеница, рис, гречиха и мука из них	17,00	1096,00	0,968	0,810	0,1630	0,0000	17,00	0,9138	2,6354	1,6074	0,5070	0,0000	4,1928	9,9142	Древесина	87,15084
Склад льноволокна	15,70	3,40	1,830	0,360	0,0040	0,0000	15,70	0,0028	4,9823	0,7126	0,0121	0,0000	11,9237	18,7428	Древесина	87,23259
Склад хлопка в тюках	16,70	0,60	1,150	0,580	0,0050	0,0000	16,70	0,0005	3,1309	1,1442	0,0162	0,0000	7,5764	11,7783	Древесина	87,18314
Склад бумаги в рулонах	15,10	41,00	1,158	0,660	0,1080	0,0000	15,10	0,0342	3,1527	1,3134	0,3350	0,0000	6,6835	11,8602	Древесина	87,17473
Дерево + лак. покрытие; 0,95*древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)	13,90	64,10	1,191	0,720	0,0210	5·10 <sup>-4</sup>	13,90	0,0534	3,2426	1,4332	0,0638	0,0012	6,9570	12,1982	Древесина	87,17743
Зал: 0,5·ДВП + 0,1·(гкань, искожа ПВХ, ППУ) + 0,2·дерево с покрытием	16,20	176,00	1,574	0,820	0,0410	0,0140	16,20	0,1464	4,2853	1,6173	0,1275	0,0342	8,1315	16,1209	Древесина	87,19306
Тара: древесина + картон + полистирол (0,5 + 0,25 + 0,25)	20,71	155,00	1,520	0,970	0,0940	0,0050	20,71	0,1292	4,1383	1,9202	0,2924	0,0110	6,9325	15,5678	Древесина	87,18047

Продолжение табл. III.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Упаковка: бумага + картон + (этилен + стирол) (0,4 + 0,3 + 0,15 + 0,15)	23,54	172,00	1,700	0,680	0,1120	0,0040	23,54	0,1434	4,6283	1,3441	0,3483	0,0088	9,1181	17,4114	Древесина	87,20414
Вешала текстильных изделий	16,72	61,00	2,560	0,880	0,0630	0,0000	16,72	0,0509	6,9697	1,7400	0,1959	0,0000	12,6262	26,2195	Древесина	87,24597
Отделка: ковролин	15,40	150,00	2,550	1,230	0,2070	0,0040	15,40	0,1251	6,9425	2,4249	0,6438	0,0093	10,1400	26,1171	Древесина	87,22169
Мебель + бумага (0,8) <sup>+</sup> + ковровое покрытие (0,2)	14,28	72,40	1,439	0,760	0,0680	8·10 <sup>-4</sup>	14,28	0,0604	3,9178	1,5025	0,2115	0,0019	7,7512	14,7382	Древесина	87,18770
Занавес зрительного зала кинотеатра	13,80	50,00	1,030	0,200	0,0020	0,0000	13,80	0,0417	2,8042	0,4018	0,0068	0,0000	8,7966	10,5492	Древесина	87,19463
Жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д.	13,80	270,00	1,030	0,203	0,0022	0,0140	13,80	0,2251	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	Древесина	87,19355
Столовая, зал ресторана и т. д.	13,80	82,00	1,437	1,285	0,0022	0,0060	13,80	0,0684	3,9123	2,5437	0,0068	0,0143	5,4856	14,7177	Древесина	87,16459
Зал театра, кинотеатра, клуба, цирка и т. д.	13,80	270,00	1,03	0,203	0,0022	0,0140	13,80	0,2251	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	Древесина	87,19355
Гардеробы	16,70	61,00	2,56	0,880	0,0630	0,0000	16,70	0,0509	6,9697	1,7420	0,1959	0,0000	12,6214	26,2195	Древесина	87,24592
Хранилища библиотек, архивы	14,50	49,50	1,154	1,109	0,0974	0,0000	14,50	0,0413	3,1418	2,1947	0,3029	0,0000	4,5564	11,8193	Древесина	87,15314
Музеи, выставки	13,80	270,00	1,030	0,203	0,0022	0,0140	13,80	0,2251	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	Древесина	87,19355
Подсобные и бытовые помещения	14,00	53,00	1,161	0,642	0,0317	0,0000	14,00	0,0442	3,1609	1,2709	0,0986	0,0000	7,1628	11,8910	Древесина	87,17929
Административные помещения, учебные классы школ, ВУзов, кабинеты поликлиник	14,00	47,70	1,369	1,478	0,0300	0,0058	14,00	0,0398	3,7272	2,9258	0,0933	0,0139	4,1091	14,0213	Древесина	87,15015

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Магазины	15,80	270,00	1,250	0,850	0,0430	0,0230	15,80	0,2251	3,4032	1,6826	0,1337	0,0550	6,3009	12,8025	Древе- сина	87,17236
Зал вокзала	13,80	270,00	1,030	0,203	0,0022	0,0140	13,80	0,2251	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	Древе- сина	87,19355
Стадионы	26,40	78,00	2,090	1,800	0,1270	0,0000	26,40	0,0650	5,6901	3,5632	0,3950	0,0000	5,5807	21,4058	Древе- сина	87,17123
Спортзалы	16,70	61,00	2,560	0,880	0,0630	0,0000	16,70	0,0509	6,9697	1,7420	0,1959	0,0000	12,6214	26,2195	Древе- сина	87,24592
Автомобиль; 0,3 · (рези- на, бензин) + 0,15 · (ППУ, искожа ПВХ) + 0,1 · эмаль	31,70	487,00	2,640	1,300	0,0970	0,0109	31,70	0,4856	8,5963	3,0659	0,3608	0,0311	12,6148	32,3384	Стирол	104,32330
Стоянки легковых автомобилей	31,70	487,00	2,640	1,300	0,0970	0,0110	31,70	0,4856	8,5963	3,0778	0,3608	0,0314	12,5853	32,3384	Стирол	104,32300
Стоянки легковых автомобилей с двухуров- невым хранением	31,70	487,00	2,640	1,300	0,0970	0,0110	31,70	0,4856	8,5963	3,0778	0,3608	0,0314	12,5853	32,3384	Стирол	104,32300
Резинотехн. изделия; резина, изделия из нее	36,00	850,00	2,990	0,420	0,0150	0,0000	36,00	0,8476	9,7360	0,9849	0,0558	0,0000	20,0188	36,6257	Стирол	104,40190
Кабельный подвал/поток; кабели АВВГ + АПВГ	30,70	521,00	2,190	0,650	0,1300	0,0200	30,70	0,5195	7,1310	1,5389	0,4817	0,0577	13,4782	26,8262	Стирол	104,32820
Радиоматериалы; поли- этилен, стирол, пропилен, гетинакс	34,80	381,00	3,312	0,760	0,1000	0,0070	34,80	0,3799	10,7844	1,8088	0,3720	0,0209	19,6464	40,5700	Стирол	104,40050
Электротехн. материалы; тектелит, карболит	20,90	327,00	1,950	0,380	0,0560	0,0050	20,90	0,3261	6,3495	0,8878	0,2068	0,0154	14,3226	23,8863	Стирол	104,33310
Электрокабель АВВГ; ПВХ-оболочка + изоляция	25,00	635,00	2,190	0,400	0,1090	0,0250	25,00	0,6332	7,1310	0,9423	0,4055	0,0700	14,9536	26,8262	Стирол	104,34350

Продолжение табл. III.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка + полиэтилен	36,40	407,00	2,190	0,900	0,1500	0,0160	36,40	0,4058	7,1310	2,1379	0,5580	0,0457	11,9965	26,8262	Стирол	104,31290
Телефонный кабель ТВП; ПВХ + полиэтилен	34,60	556,00	2,190	0,900	0,1240	0,0160	34,60	0,5544	7,1310	2,1379	0,4613	0,0446	12,0501	26,8262	Стирол	104,31370
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37,80	850,00	2,990	0,420	0,0150	0,0000	37,80	0,8476	9,7360	0,9849	0,0558	0,0000	20,0188	36,6257	Стирол	104,40190
Склад оргстекла (ПММА)	26,40	78,00	2,090	1,800	0,1270	0,0000	26,40	0,0778	6,8054	4,2497	0,4709	0,0000	6,7057	25,6012	Стирол	104,25690
Кабели + провода: 0,75-(АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25-(КПРТ, ПР, ШРПС)	33,50	612,00	2,389	0,660	0,1000	0,0140	33,50	0,6102	7,7790	1,5507	0,3701	0,0400	14,7491	29,2638	Стирол	104,34290
Сырье и изделия из синтетического каучука	43,00	212,00	2,985	1,410	0,1500	0,0050	43,00	0,2114	9,7197	3,3335	0,5580	0,0143	13,8670	36,5644	Стирол	104,33860
Бензин А-76	43,20	256,00	3,405	2,920	0,1750	0,0000	43,20	0,2381	10,3431	6,4492	0,6073	0,0000	6,9092	38,9096	Бензин	97,27816
Дизельное топливо; соляр	45,40	620,00	3,368	3,160	0,1220	0,0000	45,40	1,2082	21,4297	14,6329	0,8868	0,0000	11,4340	80,6164	Дизельное топливо	203,73380
Индустриальное масло	42,70	480,00	1,589	1,070	0,1220	0,0000	42,70	1,3960	15,0911	7,3887	1,3237	0,0000	22,6353	56,7712	Масло трансформаторное	304,10510
Керосин	43,30	438,00	3,341	2,920	0,1480	0,0000	43,30	0,8037	20,0154	12,7192	1,0129	0,0000	13,0101	75,2960	Керосин осветит.	191,84750
Кеплол	41,20	402,00	3,623	3,660	0,1480	0,0000	41,20	0,4078	12,0016	8,8081	0,5601	0,0000	4,5411	45,1490	Кеплол	106,05730

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Лекарственные препараты, содержащие этиловый спирт и глицерин	26,60	88,10	2,304	1,910	0,2620	0,0000	26,60	0,0388	3,3121	1,9985	0,4303	0,0000	2,8595	12,4599	Этиловый спирт	46,02816
Нефть	44,20	438,00	3,240	3,100	0,1610	0,0000	44,2	0,4074	9,8419	6,8555	0,5587	0,0000	4,9889	37,0241	Бензин	97,25767
Толуол	40,90	562,00	3,098	3,680	0,1480	0,0000	40,900	0,4948	8,9071	7,6866	0,4861	0,0000	1,0643	33,5076	Толуол	92,01662
Турбинное масло	41,90	243,00	0,282	0,700	0,1220	0,0000	41,90	0,7067	2,6782	4,8337	1,3237	0,0000	7,2886	10,0752	Масло трансформаторное	303,9110
Этиловый спирт	27,50	80,00	2,362	1,940	0,2690	0,0000	27,50	0,0352	3,3955	2,0246	0,4418	0,0000	2,9282	12,7735	Этиловый спирт	46,02911

**Примечания:**

1.  $H_f$  – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, МДж/кг;  $D_m$  – дымообразующая способность пожарной нагрузки,  $H_p \cdot m^2/кг$ ;  $L_{O_2}$  – потребление кислорода при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг;  $L_{CO_2}$  – выделение углекислого газа при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг;  $L_{CO}$  – выделение угарного газа при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг;  $L_{HCl}$  – выделение хлористого водорода при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг;  $V_C$  – количество молей углерода (сажи), выделившихся при сгорании 1 моля пожарной нагрузки;  $V_{O_2}$  – количество молей кислорода для сгорания 1 моля пожарной нагрузки;  $V_{CO_2}$  – количество молей углекислого газа, выделившихся при сгорании 1 моля пожарной нагрузки;  $V_{CO}$  – количество молей угарного газа, выделившихся при сгорании 1 моля пожарной нагрузки;  $V_{HCl}$  – количество молей хлористого водорода, выделившихся при сгорании 1 моля пожарной нагрузки;  $V_{H_2O}$  – количество молей водяного пара, выделившихся при сгорании 1 моля пожарной нагрузки;  $V_{N_2}$  – количество молей азота, выделившихся при сгорании 1 моля пожарной нагрузки;  $M_f$  – молекулярная масса пожарной нагрузки, г/моль.

2. Под «базовым» материалом понимается материал или вещество, которые по пожароопасным свойствам в большей степени эквивалентны соответствующей пожарной нагрузке и по аналогии с которыми определяется молекулярная масса горючего.

**Перечень необходимых исходных данных для задания выделения дыма и токсичных газообразных продуктов горения в программном продукте CFAST 6 на основе [21]**

	Справочные данные [10]										Расчетные данные для CFAST 6			
	$H_f$	$V$	$\Psi$	$D_m$	$L_{O_2}$	$L_{CO_2}$	$L_{CO}$	$L_{HCl}$	$HRR$	$t$	$CO/CO_2$	$C/CO_2$	$I_{HCl}$	
Пожарная нагрузка	МДж/кг	м/с	кг/м <sup>2</sup> с	Нп · м <sup>2</sup> / кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кВт/м <sup>2</sup>	с	кг/кг	кг/кг	кг/кг	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	
Здания I–II ст. огнест.; мебель + бытовые изделия	13,80	0,0108	0,0145	270,00	1,030	0,2030	0,0022	0,0140	186	121	0,011	0,194	0,0140	
Здания ст. огнест.; мебель + ткани	14,70	0,0108	0,0145	82,00	1,437	1,2850	0,0022	0,0060	198	117	0,002	0,009	0,0060	
Здания III–IV ст. огнест.; мебель + бытовые изделия	13,80	0,0465	0,0344	270,00	1,030	0,2030	0,0022	0,0140	441	18	0,011	0,194	0,0140	
Здания III–IV ст. огнест.; мебель + ткани	14,70	0,0465	0,0344	82,00	1,437	1,2850	0,0022	0,0060	470	18	0,002	0,009	0,0060	
Здание I ст. огнест.; мебель + ткани (0,75 + 0,25)	14,90	0,0125	0,0162	58,50	1,437	1,3200	0,0193	0,0000	224	95	0,015	0,006	0,0000	
Здание III ст. огнест.; мебель + ткани (0,75 + 0,25)	14,90	0,0400	0,0162	58,50	1,437	1,3200	0,0193	0,0000	224	30	0,015	0,006	0,0000	
Кабинет; мебель + бумага (0,7 5+ 0,25)	14,00	0,0420	0,0129	53,00	1,161	0,6420	0,0317	0,0000	168	33	0,049	0,012	0,0000	

Продолжение табл. III.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Помещение, облицованное панелями; панели ДВП	18,10	0,0405	0,0143	130,00	1,150	0,6860	0,0215	0,0000	241	28	0,031	0,028	0,0000
Админ. помещение; мебель + бумага (0,75 + 0,25)	14,00	0,0220	0,021	53,00	1,161	1,4340	0,0430	0,0000	273	49	0,030	0,005	0,0000
Обществ. здания; мебель + линолеум ПВХ (0,9 + 0,1)	14,00	0,0150	0,0137	47,70	1,369	1,4780	0,030	0,0058	178	89	0,020	0,005	0,0058
Библиотеки; архивы; книги, журналы на стеллажах	14,50	0,0103	0,011	49,50	1,154	1,1087	0,0974	0,0000	148	142	0,088	0,007	0,0000
Сценическая часть зрительного зала; древесина	13,80	0,0368	0,0145	57,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	186	36	0,015	0,005	0,0000
Верхняя одежда; ворс. ткани (шерсть + нейлон)	23,30	0,0835	0,013	129,00	3,698	0,4670	0,0145	0,0000	282	13	0,031	0,040	0,0000
Резинотехн. изделия; резина, изделия из нее	36,00	0,0184	0,0112	850,00	2,990	0,4160	0,0150	0,0000	375	50	0,036	0,299	0,0000
Окрашенные полы, стены; дерево + краска РХО (0,9 + 0,1)	14,10	0,0151	0,0145	71,30	1,218	1,4700	0,0349	0,0010	190	86	0,024	0,007	0,0010
Выст. зал, мастерская; дерево + ткани + краски (0,9 + 0,09 + 0,01)	14,00	0,0163	0,0152	53,00	1,218	1,4230	0,0230	0,0001	198	78	0,016	0,005	0,0001
Издательства, типографии	15,40	0,0040	0,0061	41,00	1,158	0,7710	0,1690	0,0000	87	477	0,219	0,008	0,0000
Каюта с синтет. отделкой; дерево + ткани + отделка	15,80	0,0177	0,015	133,50	1,249	0,8450	0,0425	0,0230	220	68	0,050	0,023	0,0230
Мебель; дерево + облицовка (0,9 + 0,1)	14,40	0,0154	0,0135	84,10	1,288	1,5500	0,0367	0,0036	181	86	0,024	0,008	0,0036
Промтовары; текстильные изделия	16,70	0,0071	0,0244	60,60	2,560	0,8790	0,0626	0,0000	379	129	0,071	0,010	0,0000

Продолжение табл. III.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кабельный подвал/поток; кабели АВВГ + АПВГ	30,70	0,0071	0,0244	521,00	2,190	0,6500	0,1295	0,0202	697	95	0,199	0,117	0,0202
Радиоматериалы; поли- (этилен, стирол, пропилен), гетинакс	34,80	0,0137	0,0177	381,00	3,312	0,7640	0,1000	0,0073	573	54	0,131	0,073	0,0073
Электротехн. материалы; текстолит, карболит	20,90	0,0125	0,0076	327,00	1,950	0,3750	0,0556	0,0054	148	117	0,148	0,127	0,0054
Электрокабель АВВГ; ПВХ оболочка + изоляция	25,00	0,0071	0,0244	635,00	2,190	0,3980	0,1090	0,0245	567	106	0,274	0,233	0,0245
Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка + полиэтилен	36,40	0,0071	0,0244	407,00	2,190	0,9030	0,1500	0,0160	826	87	0,166	0,066	0,0160
Телефонный кабель ТВП; ПВХ + полиэтилен	34,60	0,0022	0,0085	556,00	2,190	0,9030	0,1240	0,0156	274	490	0,137	0,090	0,0156
Лесопильный цех I–III ст. огнест.; дрevesина	13,80	0,0396	0,0145	57,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	186	33	0,015	0,005	0,0000
Лесопильный цех IV–V ст. огнест.; дрevesина	13,80	0,0583	0,0145	57,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	186	22	0,015	0,005	0,0000
Цех деревообработки; дрevesина	13,80	0,0220	0,0145	57,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	186	59	0,015	0,005	0,0000
Цех сушки дрevesины; дрevesина	13,80	0,0375	0,0145	57,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	186	35	0,015	0,005	0,0000
Производство фанеры; дрevesина + фанера (0,5 + 0,5)	16,10	0,0191	0,0117	80,50	1,177	1,0550	0,0720	0,0000	175	71	0,068	0,011	0,0000
Штабель дрevesины; хвойный + лиственный лес	13,80	0,0585	0,0145	57,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	186	22	0,015	0,005	0,0000
Хвойные дрevesные строй-материалы; штабель	13,80	0,0585	0,0063	61,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	81	34	0,015	0,006	0,0000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Лиственные древесные строительные материалы; штабель	13,80	0,0585	0,014	53,00	1,150	1,5700	0,0240	0,0000	180	23	0,015	0,005	0,0000
Клееные строительные материалы; фанера	18,40	0,0167	0,0089	104,00	1,205	0,5400	0,1210	0,0000	152	87	0,224	0,028	0,0000
Сырье для легкой промышленности; хлопчатобумажное	16,40	0,0445	0,0213	0,60	2,300	0,5700	0,0052	0,0000	325	22	0,009	0,000	0,0000
Сырье для легкой промышленности; лен разрыхл.	15,70	0,0500	0,0213	3,37	1,830	0,3600	0,0039	0,0000	311	20	0,011	0,001	0,0000
Сырье для легкой промышленности; хлопок + капрон (0,75 + 0,25)	15,70	0,0280	0,0125	4,30	3,550	1,0450	0,0120	0,0000	183	47	0,011	0,001	0,0000
Сырье для легкой промышленности; шерсть	21,80	0,0280	0,02	164,00	1,759	0,7150	0,0153	0,0000	405	32	0,021	0,034	0,0000
Пшеница; гречиха и мука из них	17,00	0,0050	0,008	1096,00	0,968	0,8120	0,1630	0,0000	126	317	0,201	0,197	0,0000
Сырье и изделия из синтетического каучука	43,00	0,0143	0,011	212,00	2,985	1,4080	0,1500	0,0050	440	60	0,107	0,022	0,0050
Склад льноволокна	15,70	0,0710	0,0213	3,40	1,830	0,36000	0,0039	0,0000	311	14	0,011	0,001	0,0000
Склад хлопчатобумажных тканей	16,70	0,0042	0,0167	0,60	1,150	0,578	0,0052	0,0000	259	264	0,009	0,000	0,0000
Склад бумаги в рулонах	15,10	0,0050	0,008	41,00	1,158	0,6635	0,1077	0,0000	112	337	0,162	0,009	0,0000
Провода в резиновой изоляции типа КППГ, ПГ, ВПРС	37,80	0,0050	0,1917	850,00	2,990	0,4160	0,0150	0,0000	6739	43	0,036	0,299	0,0000
Склад оргстекла (ПММА)	26,40	0,0080	0,0041	78,00	2,090	1,7950	0,1266	0,0000	101	222	0,071	0,006	0,0000
Кабели и провода:													
0,75 · (АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25 · (КППГ, ПР, ШРПС)	33,50	0,0054	0,0622	612,00	2,389	0,6550	0,0995	0,0140	1938	75	0,152	0,137	0,0140
Дерево + лак. покрытие:													
0,95 · древесина + 0,05 · (ФЛ + ПХО)	13,90	0,0151	0,0225	64,10	1,191	0,7240	0,0205	0,0005	291	69	0,028	0,013	0,0005

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Автомобиль; $0,3 \cdot$ (резина, бензин) + $0,15 \cdot$ (ППУ, изо-жа ПВХ) + $0,1 \cdot$ эмаль	31,70	0,0068	0,0233	487,00	2,640	1,2950	0,0970	0,0109	687	100	0,075	0,055	0,0109
Зал; $0,5 \cdot$ ДВП + $0,1 \cdot$ (ткань, изожа ПВХ, ППУ) + $0,2 \cdot$ дерево с покрытием	16,20	0,0293	0,0123	175,60	1,574	0,8170	0,0410	0,0143	185	45	0,050	0,031	0,0143
Тара: древесина + картон + полистирол ( $0,5 + 0,25 + 0,25$ )	20,71	0,0100	0,018	155,00	1,520	0,9700	0,0940	0,0046	347	96	0,097	0,023	0,0046
Упаковка: бумага + картон + (этилен + стирол) ( $0,4 + 0,3 + 0,15 + 0,15$ )	23,54	0,0040	0,0132	172,00	1,700	0,6790	0,1120	0,0037	289	262	0,165	0,037	0,0037
Вешала текстильных изделий	16,72	0,0078	0,0245	61,00	2,560	0,8790	0,0630	0,0000	381	117	0,072	0,010	0,0000
Отделка: ковровлин	15,40	0,0210	0,013	150,00	2,550	1,2250	0,2070	0,0039	186	62	0,169	0,018	0,0039
Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)	14,28	0,0340	0,0129	72,40	1,439	0,7590	0,0680	0,0008	171	40	0,090	0,014	0,0008
Занавес зрительного зала кинотеатра	13,80	0,0500	0,0115	50,00	1,030	0,2030	0,0022	0,0000	148	29	0,011	0,036	0,0000

*Примечание.*  $H_f$  – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, МДж/кг;  $V$  – линейная скорость распространения пламени по поверхности пожарной нагрузки, м/с;  $\psi$  – массовая скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $D_m$  – дымообразующая способность пожарной нагрузки, Нп · м<sup>2</sup>/кг;  $L_{CO}$  – потребление кислорода при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг;  $L_{CO_2}$  – выделение углекислого газа при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг;  $L_{HCl}$  – выделение хлористого водорода при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг;  $HRR$  – интенсивность тепловыделения с 1 м<sup>2</sup> поверхности очага пожара, кВт/м<sup>2</sup>;  $t$  – время достижения интенсивности тепловыделения очага пожара величины 1 МВт;  $CO/CO_2$  – отношение  $L_{CO}$  к  $L_{CO_2}$ , кг/кг;  $C/CO_2$  – отношение  $L_C$  к  $L_{CO_2}$ , где  $L_C$  – выделение сажи при сгорании 1 кг пожарной нагрузки, кг/кг.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Таблица П2.1

#### Частоты реализации инициирующих пожароопасных ситуаций событий для некоторых типов оборудования объектов

1	2	3	4
Наименование оборудования	Иницилирующее аварийное событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год <sup>-1</sup>
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$
		100,0	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Химические реакторы	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$
		5,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		50,0	$3,8 \cdot 10^{-6}$
Насосы (центробежные с односторонним торцевым уплотнением)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	Полное разрушение	$1,5 \cdot 10^{-5}$
		5,0	$4,3 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25,0	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50,0	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Диаметр подводящего/отводящего трубопровода	$1,0 \cdot 10^{-4}$

Окончание табл. П2.1

1	2	3	4
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5,0 12,5 25,0 50,0 Полное разрушение	1,1 · 10 <sup>-2</sup> 1,3 · 10 <sup>-3</sup> 3,9 · 10 <sup>-4</sup> 1,3 · 10 <sup>-4</sup> 1,0 · 10 <sup>-4</sup>
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при единичном объеме 450 м <sup>3</sup> и более)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25,0 100,0 Полное разрушение	8,8 · 10 <sup>-5</sup> 1,2 · 10 <sup>-5</sup> 5,0 · 10 <sup>-6</sup>
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при единичном объеме менее 450 м <sup>3</sup> )	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25,0 100,0 Полное разрушение	5,0 · 10 <sup>-4</sup> 5,0 · 10 <sup>-5</sup> 8,0 · 10 <sup>-6</sup>
Одностенные изотермические резервуары для хранения сжиженных газов	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	Утечка паров 150,0 500,0 Полное разрушение	2,0 · 10 <sup>-4</sup> 1,0 · 10 <sup>-4</sup> 8,0 · 10 <sup>-5</sup> 4,0 · 10 <sup>-5</sup>
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ с плавающей крышей	Пожар в кольцевом зазоре по периметру резервуара Пожар по всей поверхности резервуара	– –	4,6 · 10 <sup>-3</sup> 9,3 · 10 <sup>-4</sup>
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ со стационарной крышей	Пожар на дыхательной арматуре Пожар по всей поверхности резервуара	– –	9,0 · 10 <sup>-5</sup> 9,0 · 10 <sup>-5</sup>
Гибкие соединения для проведения сливно-наливных операций	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5,0 15,0 Полное разрушение	1,3 · 10 <sup>-5</sup> 1,0 · 10 <sup>-6</sup> 4,0 · 10 <sup>-5</sup>

*Примечания:*

1. Здесь и далее под полным разрушением подразумевается утечка с диаметром истечения, соответствующим максимальному диаметру подводящего или отводящего трубопровода, или разрушения резервуара, емкости, сосуда или аппарата.

2. Для гибких соединений для проведения сливо-наливных операций в таблице приведена вероятность разгерметизации (разрушения) на одну сливо-наливную операцию.

При определении частоты разгерметизации фильтров и кожухотрубных теплообменников указанное оборудование допускается рассматривать как аппараты под давлением.

Аппараты воздушного охлаждения допускается рассматривать как участки технологических трубопроводов, длина которых соответствует суммарной длине труб в пучках теплообменника.

Частота реализации сценариев, связанных с образованием огненного шара на емкостном оборудовании со сжиженными газами и ЛВЖ вследствие внешнего воздействия очага пожара определяется на основе процедуры построения логических деревьев событий, приведенной в Прил. 3 к настоящему пособию. При отсутствии необходимых данных допускается принимать частоту внешнего воздействия, приводящего к реализации огненного шара, равной  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  на один аппарат (резервуар).

При использовании данных, приведенных в настоящем приложении, для какого-либо резервуара, емкости, сосуда, аппарата, технологического трубопровода следует учитывать частоты разгерметизации для всех размеров утечек, указанные для этой единицы технологического оборудования.

**Частоты утечек из технологических трубопроводов**

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек ( $\text{м}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ )				
	Малая (диаметр отверстия 12,5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Значительная (диаметр отверстия 50 мм)	Большая (диаметр отверстия 100 мм)	Разрыв
50	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	—	—	$1,4 \cdot 10^{-6}$
100	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	—	$2,4 \cdot 10^{-7}$
150	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
250	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
600	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$
900	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$
1200	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$

*Примечание.* Частота разгерметизации технологических трубопроводов с промежуточными значениями диаметра трубопроводов может быть определена путем линейной интерполяции приведенных в табл. П2.2 значений.

Частота возникновения пожара в здании (помещении)  $Q$  ( $\text{год}^{-1}$ ) может быть также определена исходя из данных по частотам возникновения пожаров в различных зданиях и площади здания (помещения).

**Частоты возникновения пожаров в зданиях**

Наименование объекта	Частота возникновения пожара ( $\text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ )
Электростанции	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Склады химической продукции	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Склады многономенклатурной продукции	$9,0 \cdot 10^{-5}$
Инструментально-механические цеха	$0,6 \cdot 10^{-5}$
Цеха по обработке синтетического каучука и искусственных волокон	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Литейные и плавильные цеха	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Цеха по переработке мясных и рыбных продуктов	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Цеха горячей прокатки металлов	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Текстильные производства	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Административные здания производственных объектов	$1,2 \cdot 10^{-5}$

Следует отметить, что зависимость частоты возникновения пожара в здании от площади здания может не являться линейной. Частота возникновения пожара в здании (помещении)  $Q$  (год<sup>-1</sup>) может быть также определена по следующей формуле:

$$Q = a \cdot F^b, \quad (\text{П2.1})$$

где  $a$ ,  $b$  – константы, определяемые для различных зданий по табл. П.2.4;  $F$  – площадь здания (помещения) производственного объекта, м<sup>2</sup>.

Таблица П2.4

Характеристика здания	$a$	$b$
Здания пищевой, табачной промышленности	0,00110	0,60
Переработка горючих веществ, химическая промышленность	0,00690	0,46
Размещение электротехнического оборудования	0,00610	0,59
Обслуживание транспортных средств	0,00012	0,86
Текстильная промышленность	0,00750	0,35
Полиграфические предприятия, издательское дело	0,00070	0,91
Административные здания производственных объектов	0,00006	0,90
Другие виды зданий производственных объектов	0,00840	0,41

Использование формулы (П2.1) и табл. П2.4 рекомендуется для помещений площадью более 1000 м<sup>2</sup>.

**Рекомендуемый метод определения удельных частот  
разгерметизации  
магистрального трубопровода**

Удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода определяется следующим образом:

а) на основе статистических данных определяется базовая частота разгерметизации  $\lambda_{CP}$ . При отсутствии данных для вновь проектируемых магистральных трубопроводов допускается  $\lambda_{CP}$  принимать равной:

1,4 · 10<sup>-7</sup> год<sup>-1</sup> · м<sup>-1</sup> для магистральных газопроводов;

2,7 · 10<sup>-7</sup> год<sup>-1</sup> · м<sup>-1</sup> для магистральных нефтепроводов;

б) выделяются рассматриваемые при проведении расчетов типы разгерметизации:

для магистральных газопроводов:

$j = 1$  – проколы (трещины, точечные отверстия), определяемые как отверстия с диаметром 20 мм;

$j = 2$  – отверстия с диаметром, равным 10 % от диаметра магистрального трубопровода;

$j = 3$  – разрыв, определяемый как образование отверстия размером равным диаметру магистрального трубопровода;

для магистральных нефтепроводов:

$j = 1$  – «свищи» – отверстия с характерными размерами  $0,3 \cdot Lp/D$  ( $Lp$  – характерный размер продольной трещины;  $D$  – условный диаметр магистрального трубопровода), площадь дефектного отверстия –  $0,0072 \cdot So$  ( $So$  – площадь поперечного сечения магистрального трубопровода);

$j = 2$  – трещины, характерный размер  $0,75 \cdot Lp/D$ , площадь дефектного отверстия –  $0,0448 \cdot So$ ;

$j = 3$  – «гильотинный» разрыв, характерный размер  $0,75 \cdot Lp/D$ , площадь дефектного отверстия –  $0,179 \cdot So$ .

Допускается при соответствующем обосновании учитывать и другие типы разгерметизации;

в) рассматриваются шесть причин разгерметизации ( $i = 1 \dots 6$  – табл. П2.5);

г) удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для  $j$ -го типа разгерметизации на участке  $m$  трубопровода определяется по формуле:

$$\lambda_j(m) = \lambda_{CP} \sum_{i=1}^6 f_{ij}(m) / 100, \quad (\text{П2.2})$$

где  $\lambda_{CP}$  – базовая частота разгерметизации магистрального трубопровода,  $\text{год}^{-1}$ ;  $f_{ij}(m)$  – относительная доля  $i$ -й причины разгерметизации для  $j$ -го типа разгерметизации на участке  $m$  магистрального трубопровода.

д) величины  $f_{ij}$  для различных типов разгерметизации для различных участков магистрального трубопровода определяются по формулам:

$$f_{1j} = f_{1jcp} \cdot k_{тс} \cdot k_{зт} \cdot k_{ннб} \cdot k_{пер1}, \quad (\text{П2.3})$$

$$f_{2j} = f_{2jcp} \cdot k_{бд}, \quad (\text{П2.4})$$

$$f_{3j} = f_{3jcp} \cdot k_{ктс} \cdot k_{кпз}, \quad (\text{П2.5})$$

$$f_{4j} = f_{4jcp} \cdot k_{дгд} \cdot k_{пер2}, \quad (\text{П2.6})$$

$$f_{5j} = f_{5jcp} \cdot k_{оп}, \quad (\text{П2.7})$$

$$f_{6j} = f_{6jcp}, \quad (\text{П2.8})$$

где  $k_{тс}$ ,  $k_{зт}$ ,  $k_{ннб}$ ,  $k_{пер1}$ ,  $k_{бд}$ ,  $k_{кпз}$ ,  $k_{дгд}$ ,  $k_{пер2}$ ,  $k_{оп}$  – поправочные коэффициенты, определяемые по табл. П2.6 с учетом технических характеристик магистрального трубопровода.

Таблица П2.5

**Среднестатистическая относительная доля аварий,  
вызванных разгерметизацией магистральных трубопроводов**

Причина		Среднестатистическая относительная доля аварии, вызванных данной причиной, $f_{иср}(m)$ , %			
		Проколы (трещины), точечные отверстия	Отверстие	Разрыв	Всего
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	
$i = 1$	Внешнее воздействие	13,2/16,8	26,6/26,2	9,7/6,5	49,5
$i = 2$	Брак строительства, дефект материалов	10,6/11,3	4,7/4,6	1,2/0,6	16,5
$i = 3$	Коррозия	15,2/15,2	0,2/0,2	0/0	15,4
$i = 4$	Движение грунта, вызванное природными явлениями	1,8/2,2	2,2/2,2	3,3/2,9	7,3
$i = 5$	Ошибки оператора	3,0/3,0	1,6/1,6	0/0	4,6
$i = 6$	Прочие и неизвестные причины	6,5/6,5	0,2/0,2	0/0	6,7
	Итого	50,3/55,0	35,51/35,0	14,2/10,0	100

Примечание. В числителе приведены значения для магистральных газопроводов, в знаменателе – магистральных нефтепроводов.

Таблица П2.6

**Поправочные коэффициенты  
к среднестатистической относительной доли аварии**

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
Поправочный коэффициент $k_{тс}$ , зависящий от толщины стенки трубопровода $\delta$ , мм	$k_{тс} = \exp [-0,275 (\delta - 6)]$
Поправочный коэффициент $k_{зг}$ , зависящий от минимальной глубины заложения трубопровода, м: - менее 0,8 м; - от 0,8 до 1 м; - более 1 м	$k_{зг} = 1$ $k_{зг} = 0,93$ $k_{зг} = 0,73$

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
Поправочный коэффициент $k_{\text{ннб}}$ для участков переходов, выполненных методом наклонно направленного бурения (далее – ННБ): - на участках этих переходов; - вне этих участков	$k_{\text{ннб}} = 0$ $k_{\text{ннб}} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{\text{пер1}}$ переходов через искусственные препятствия: - на переходах через автодороги, железные дороги и инженерные коммуникации; - вне переходов либо на них предусмотрены защитные футляры (кожухи) из стальных труб с герметизацией межтрубного пространства	$k_{\text{пер}} = 2$  $k_{\text{пер}} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{\text{бд}}$ , учитывающий применение материалов и средств контроля при строительстве: - для трубопроводов, построенных в соответствии с требованиями нормативных документов; - при использовании улучшенных материалов и дополнительных средств контроля при строительстве и последующей эксплуатации трубопроводов	$k_{\text{бд}} = 1$  $k_{\text{бд}} = 0,07$
Поправочный коэффициент $k_{\text{ктс}}$ , учитывающий влияние толщины стенки трубопровода (мм) на частоту разгерметизации по причине коррозии: - менее 5; - от 5 до 10; - более 10	$k_{\text{ктс}} = 2$ $k_{\text{ктс}} = 1$ $k_{\text{ктс}} = 0,03$
Поправочный коэффициент $k_{\text{кпз}}$ , учитывающий влияние применяемых систем защиты от коррозии: - для трубопроводов, построенных в соответствии с требованиями нормативных документов; - при использовании улучшенной системы защиты (тип и качество изоляционного покрытия, электрохимическая защита, внутритрубная диагностика и т. п.)	$k_{\text{кпз}} = 1$  $k_{\text{кпз}} = 0,16$

## Окончание табл. П2.6

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
Поправочный коэффициент $k_{длд}$ , зависящий от диаметра трубопровода $D$ , мм	$k_{длд} = \exp[-0,00156(D-274)]$
Поправочный коэффициент $k_{пер2}$ , учитывающий прохождение трассы трубопровода через водные преграды и заболоченные участки: - для водных преград - для заболоченных участков - при отсутствии переходов либо выполненных методом ННБ	$k_{пер} = 5$ $k_{пер} = 2$ $k_{пер} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{оп}$ , зависящий от диаметра трубопровода $D$ , мм	$k_{оп} = \exp[-0,004(D-264)]$

### Примеры логических деревьев событий и сведения, необходимые для их построения

В табл. П.3.1 представлены приведенные в Методике [1] рекомендуемые условные вероятности мгновенного воспламенения и воспламенения с задержкой по времени в зависимости от массового расхода скорости истечения горючих газов, двухфазной среды или жидкости при разгерметизации типового технологического оборудования на объекте.

В табл. П.3.1 приведены условные вероятности событий. Согласно общепринятому определению, условная вероятность – это вероятность наступления одного события при условии, что другое событие уже произошло.

Так, в соответствии с табл. П.3.1 для аварии, связанной с полным разрывом, например, аппарата и поступлением горючего газа или двухфазной горючей среды в окружающее пространство, условные вероятности реализации различных сценариев составят (например, при вероятности реализации для района размещения объекта благоприятных для образования газопаровоздушного облака условий 20 % или 0,2):

- мгновенное воспламенение  $P = 0,2$ ;
- последующее воспламенение при отсутствии мгновенного воспламенения  $P = (1 - 0,2) \cdot 0,24 = 0,192$ ;
- сгорание с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении при отсутствии мгновенного воспламенения  $P = (1 - 0,2) \cdot 0,24 \cdot 0,2 \cdot 0,6 \approx 0,023$ ;
- сгорание без образования избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении при отсутствии мгновенного воспламенения  $P = (1 - 0,2) \cdot 0,24 \cdot 0,2 \cdot (1 - 0,6) \approx 0,015$ .

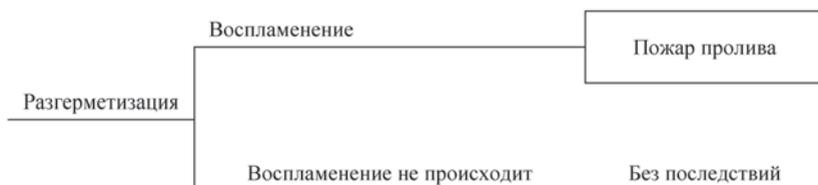
Таблица ПЗ.1

**Условная вероятность мгновенного воспламенения  
и воспламенения с задержкой**

Массовый расход истечения, кг/с	Условная вероятность мгновенного воспламенения	Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения			Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горячего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении		
		Газ	Двухфазная смесь	Жидкость	Газ	Двухфазная смесь	Жидкость
Диапазон Номинальное среднее значение	Газ	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
	Двухфазная смесь	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
	Жидкость	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
	Двухфазная смесь	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
Малый (< 1)	0,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,050
Средний (1–50)	10,0	0,035	0,035	0,015	0,036	0,015	0,050
Большой (> 50)	100,0	0,150	0,150	0,040	0,176	0,042	0,050
Полный разрыв	Не определено	0,200	0,200	0,050	0,240	0,061	0,100

*Примечание.* Согласно Методике [1] для ЛВЖ с температурой вспышки менее + 28 °С должны использоваться условные вероятности воспламенения как для двухфазной среды.

На рис. ПЗ.1–ПЗ.3 приведены упрощенные типовые логические деревья событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования на наружной установке с обращением горючих жидкостей (ГЖ), легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), сжиженного углеводородного газа (СУГ) и горючих газов (ГГ), которые, могут использоваться при расчете величин пожарного риска для производственных объектов.



**Рис. ПЗ.1. Типовое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией единицы технологического оборудования (1-го аппарата) и истечением ГЖ**



**Рис. ПЗ.2. Типовое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией единицы технологического оборудования (1-го аппарата) и истечением жидкой фазы или двухфазной смеси СУГ или ЛВЖ**



**Рис. ПЗ.3. Типовое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией единицы технологического оборудования (1-го аппарата) и истечением ГГ или паров ЛВЖ**

Приведенные типовые деревья событий описывают возникновение и развитие пожароопасной ситуации только в пределах того технологического аппарата, на котором они возникают, то есть возможность эскалации пожаров (возникновение вторичных пожаров и развитие в пожара в сторону соседних по отношению к месту возникновения первичных пожаров участков) не рассматривается.

Поэтому при использовании этих деревьев событий для учета возможности эскалации на наружной установке с оборудованием под давлением целесообразно учитывать дополнительные сценарии, связанные с реализацией огненного шара с частотой реализации, указанной в Прил. 2 к настоящему Пособию.

Учет возможности эскалации пожаров при определении величин пожарного риска является специфичной задачей для каждого конкретного объекта, поскольку определяется особенностями и характеристиками системы противопожар-

ной защиты конкретного объекта, и при этом является необходимым. Примеры деревьев событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций с учетом возможности эскалации пожаров приведены в разд. 3 настоящего Пособия в примере для наружной установки.

Оценка влияния возможности эскалации пожара на значения пожарного риска для производственных объектов осуществляется при проведении расчетов по оценке пожарного риска путем рассмотрения дополнительных сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров). Тем самым при определении величин потенциального риска по формулам (1) и (3) Методики [1] проводится суммирование по дополнительным сценариям.

При этом проведение расчетов по оценке пожарного риска для производственных объектов с учетом возможности эскалации пожара осуществляется в следующей последовательности:

- для всех участков объекта (помещения зданий и сооружений, наружные установки) определяется перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и возможные первичные сценарии их возникновения и развития. При этом используется метод логических деревьев событий. Под первичным сценарием понимается последовательность события с момента возникновения пожароопасной ситуации (пожара) до ее локализации (ликвидации) в пределах участка возникновения (помещения очага пожара, отсекаемого аварийной запорной арматурой участка наружной установки) или выхода за его пределы;

- определяются частоты реализации первичных сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (первичные сценарии) путем умножения частоты реализации инициирующей пожароопасную ситуацию или пожар события на условные вероятности реализации промежуточных и конечных для первичного сценария событий;

- для первичных сценариев, при которых возможна эскалация (выход пожара за пределы участка, являющегося местом

его возникновения), определяются условные вероятности и время перехода пожара на соседние участки. При этом анализируются все последующие стадии эскалации, рассматривается возможность дальнейшей эскалации;

- при определении условной вероятности и времени перехода пожара на соседние участки учитывается условная вероятность эффективного осуществления имеющихся мероприятий по ограничению распространения пожара, направленных на предотвращение эскалации;

- определяются условные вероятности поражения людей при эскалации для промежуточных и конечных событий, определяются суммарные значения потенциального пожарного риска для всех сценариев развития пожара.

При оценке пожарного риска с учетом возможности эскалации пожара на наружной установке на соседние участки объекта рассматриваются события, связанные с разрушением (повреждением) зданий, сооружений, технологического оборудования наружных установок, располагаемых на соседних с местом возникновения пожара участках, и/или вовлечением в пожар горючих веществ и материалов, обращающихся на соседних участках, при воздействии опасных факторов пожара и сопутствующих проявлениях указанных факторов.

Определение условной вероятности перехода и времени перехода пожара на наружных установках осуществляется с использованием следующих положений.

- Время перехода пожара на соседние участки при эскалации пожара, возникшего на наружной установке, при невозможности его определения допускается принимать равным нулю.

- Возможность эскалации (перехода на соседние участки) пожара следует рассматривать для следующих первичных сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров:

- факельное горение;
- пожары проливов горючих веществ на поверхность;

- пожары твердых горючих веществ;
- сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве в детонационном или дефлаграционном режиме с образованием волн давления;
- сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве в режиме пожара-вспышки.
- В случае эскалации пожара следует учитывать возможность возникновения следующих пожаров на соседних участках:
  - факельное горение;
  - пожары проливов горючих веществ на поверхность;
  - пожары твердых горючих веществ;
  - сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве в детонационном или дефлаграционном режиме с образованием волн давления;
  - сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве в режиме пожара-вспышки;
  - реализация огненного шара;
  - пожары в помещениях зданий и сооружений.
- Тип пожара из числа вышеперечисленных, возникающего на участке, в сторону которого происходит эскалация, определяется, исходя из свойств горючих веществ и материалов (физико-химические и пожароопасные свойства, параметры, при которых вещества обращаются в технологическом процессе и т. д.), обращающихся на данном участке, метеорологических условий, объемно-планировочных решений и конструктивных особенностей оборудования, зданий, сооружений и наружных установок, размещаемых на данном участке.
- При определении условной вероятности перехода пожара на соседние участки необходимо учитывать следующие сопутствующие факторы инициирующего заданную стадию эскалации пожара, воздействие которых обуславливает угрозу распространения пожара:
  - непосредственное воздействие открытого пламени, в том числе расширяющихся продуктов сгорания при реализации пожара-вспышки;

- тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов горючих веществ на поверхность, пожарах твердых горючих веществ и огненных шаров;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаровоздушной смеси;
- избыточное давление и импульс волны давления при разрыве сосуда (резервуара) в результате воздействия на него очага пожара;
- осколки, образующиеся при взрывном разрушении элементов технологического оборудования;
- распространение пожара на соседние участки по коммуникационным линиям (кабельные каналы, газоуравнительные системы, трубопроводы, производственная канализация и т. д.).
- Условная вероятность перехода пожара на соседние участки РЭСК рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ЭСК}} = P_{\text{КР}} (1 - P_{\text{ЭФ}}), \quad (\text{ПЗ.1})$$

где  $P_{\text{КР}}$  – условная вероятность достижения опасными факторами иницирующей заданную стадию эскалации пожара критических значений, при которых происходит повреждение или разрушение зданий, сооружений, технологического оборудования наружных установок, располагаемых на соседних с местом возникновения указанного пожара участках, и/или воспламенение горючих веществ и материалов, обращающихся на соседних участках;  $P_{\text{ЭФ}}$  – вероятность эффективной работы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, направленных на ограничение распространения пожара (системы пожаротушения и/или водяного орошения, водяные завесы, огнезащитные покрытия, огнепреграждающие устройства, системы сброса давления, защитные экраны и т. д.). При отсутствии данных условную вероятность эффективного срабатывания мероприятий по обеспечению пожарной безопасности допускается принимать равной нулю.

- Условная вероятность  $P_{\text{КР}}$  для случая непосредственного воздействия открытого пламени на горючие вещества и ма-

териалы, обращающиеся на соседних участках, а также на располагаемые на соседних участках здания, сооружения, наружные установки и оборудование принимается равной 1.

- Условная вероятность  $P_{кр}$  для случая распространения пожара на соседние участки по коммуникационным линиям также принимается равной 1 при отсутствии огнепреграждающих устройств.

- Условная вероятность  $P_{кр}$  для случая воздействия теплового излучения, инициирующего заданную стадию эскалации пожара, на технологическое оборудование, конструкции и горючие вещества и материалы, располагаемые на соседних участках, определяется соотношением:

$$P_{кр} = \begin{cases} 1, & \text{если } q \geq q_{кр}; \\ 0, & \text{если } q < q_{кр}. \end{cases} \quad (\text{П3.2})$$

где  $q$  – интенсивность теплового излучения на соседнем участке, кВт/м<sup>2</sup>;  $q_{кр}$  – критическая интенсивность теплового излучения для рассматриваемого вида оборудования или материала, кВт/м<sup>2</sup>.

Для случая воздействия пожара на горючие вещества и материалы, обращающиеся на соседних участках  $q_{кр}$  – это критическая интенсивность теплового излучения, при которой возможно воспламенение указанных горючих веществ и материалов. Значения  $q_{кр}$  для этого случая принимаются на основе данных, приведенных в Прил. 4 к Методике [1] и нормативных документах по пожарной безопасности.

- Для случая воздействия инициирующего пожара на располагаемое на соседних участках технологическое оборудование и металлические конструкции  $q_{кр}$  – это критическая интенсивность теплового излучения, при которой наступает потеря прочности металла. В этом случае  $q_{кр}$  определяется на основании результатов испытаний соответствующего оборудования и конструкций. При отсутствии данных допускается принимать  $q_{кр}$  для технологического оборудования и металлических конструкций равной 15 кВт/м<sup>2</sup>.

• Вероятность  $P_{кр}$  для случая воздействия волны избыточного давления на технологическое оборудование, располагаемое на соседних участках, определяется соотношением:

$$P_{кр} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta P \geq \Delta P_{кр}; \\ 0, & \text{если } \Delta P < \Delta P_{кр}. \end{cases} \quad (\text{П3.3})$$

где  $\Delta P$  – избыточное давление волны давления, кПа;  $\Delta P_{кр}$  – критическое избыточное давление волны давления, кПа, при котором происходит разрушение технологического оборудования.

Величина  $\Delta P_{кр}$  определяется исходя из технологических, планировочных и конструктивных решений оборудования, данных об авариях с взрывами на аналогичных производствах. При отсутствии данных допускается принимать  $\Delta P_{кр}$  равным 10 кПа.

Вероятность  $P_{кр}$  для случая воздействия волны избыточного давления на здания и сооружения, располагаемые на соседних участках, определяется с помощью пробит-функции по формулам (П6.7)–(П6.8) Прил. 6 к настоящему Пособию.

В соответствии с Методикой [1] условная вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара принимается исходя из статистических данных, публикуемых в научно-техническом журнале «Пожарная безопасность» или по паспортным данным завода-изготовителя оборудования.

При отсутствии указных данных рекомендуемые сведения по условной вероятности эффективного срабатывания (выполнения задачи) некоторыми системами противопожарной защиты, необходимые для построения деревьев событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций, приведены в табл. П.3.2.

Система противопожарной защиты	Условная вероятность эффективного срабатывания
<p>Системы противопожарной защиты при соблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- автоматические установки пожарной сигнализации;</li> <li>- автоматические установки пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установок независимой организацией (вне зависимости от типа установки пожаротушения);</li> <li>- автоматические установки водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установок независимой организацией</li> <li>- остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установок независимой организацией</li> </ul>	<p>0,80</p> <p>0,95</p> <p>0,6</p> <p>0,50</p>
<p>Системы противопожарной защиты при несоблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации (при отсутствии данных предприятия-поставщика)</p>	<p>0,00</p>

**Методы оценки опасных факторов пожара**

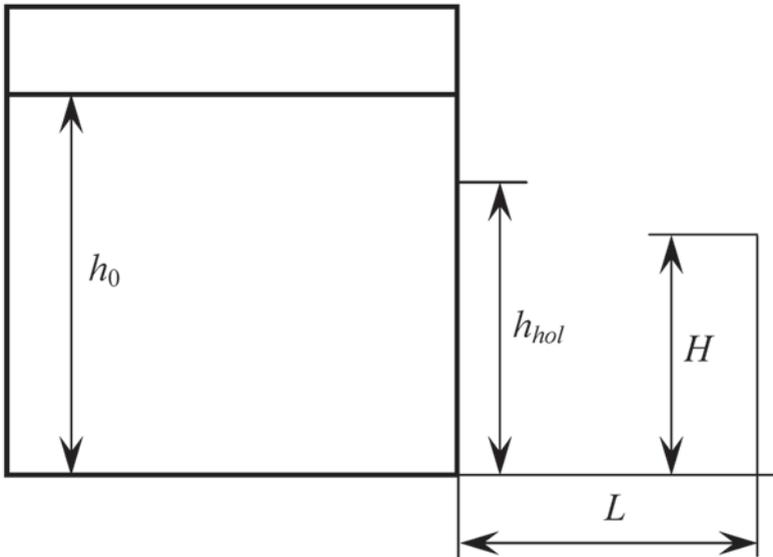
1. В настоящем приложении представлены методы оценки опасных факторов, реализующихся при различных сценариях пожаров, взрывов на территории объекта и в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта.

Для оценки опасных факторов, реализующихся при пожарах в зданиях (помещениях) объекта, используются методы, регламентированные Прил. 5 к настоящему Пособию.

**I. Истечение жидкости и газа**

*Истечение жидкости*

2. Рассматривается резервуар, находящийся в обваловании (рис. П.4.1) [1].



**Рис. П.4.1. Схема для расчета истечения жидкости из отверстия в резервуаре**

Вводятся следующие допущения [1]:

- истечение через отверстие однофазное;
- резервуар имеет постоянную площадь сечения по высоте;
- диаметр резервуара намного больше размеров отверстия;
- размеры отверстия намного больше толщины стенки;
- поверхность жидкости внутри резервуара горизонтальна;
- температура жидкости остается постоянной в течение времени истечения.

Массовый расход жидкости  $G$  (кг/с) через отверстие во времени  $t$  (с) определяется по формуле:

$$G(t) = G_0 - \frac{\rho g \mu^2 A_{hol}^2}{A_R} t, \quad (\text{П4.1})$$

где  $G_0$  – массовый расход в начальный момент времени, кг/с, определяемый по формуле:

$$G_0 = \mu \rho A_{hol} \sqrt{2g(h_0 - h_{hol})}, \quad (\text{П4.2})$$

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$ , м/с<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент истечения;  $A_{hol}$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>;  $h_{hol}$  – высота расположения отверстия, м;  $A_R$  – площадь сечения резервуара, м<sup>2</sup>;  $h_0$  – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м.

Высота столба жидкости в резервуаре  $h$  (м) в зависимости от времени  $t$  определяется по формуле:

$$h(t) = h_0 - \frac{G_0}{\rho A_R} t + \frac{g \mu^2 A_{hol}^2 t^2}{2 A_R^2}. \quad (\text{П4.3})$$

Условие перелива струи жидкости (при  $h_0 > h_{hol}$ ) через обвалование определяется по формуле:

$$h_{hol} \geq H + \frac{L}{\mu}, \quad (\text{П4.4})$$

где  $H$  – высота обвалования, м;  $L$  – расстояние от стенки резервуара до обвалования, м.

Количество жидкости  $m$  (кг), перелившейся через обвалование за полное время истечения, определяется по формуле:

$$m = \int_0^{t_{pour}} G(t)dt = G_0 t_{pour} - \frac{\rho g \mu^2 A_{hol}^2}{2 A_R} t_{pour}^2 \quad (\text{П4.5})$$

где  $t_{pour}$  – время, в течение которого жидкость переливается через обвалование, с (т. е. время, в течение которого выполняется условие (П4.4)).

Величина  $t_{pour}$  определяется по формуле:

$$t_{pour} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (\text{П4.6})$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметры, которые определяются по формулам:

$$a = g \mu^2 A_{hol}^2 / (2 \cdot A_R^2), \text{ м/с}^2; \quad (\text{П4.7})$$

$$b = -\frac{G_0}{\rho A_R}, \text{ м/с}; \quad (\text{П4.8})$$

$$c = h_0 - H - \frac{L}{\mu}, \text{ м}. \quad (\text{П4.9})$$

В случае, если жидкость в резервуаре находится под избыточным давлением  $\Delta P$  (Па), величина мгновенного массового расхода  $G_0$  (кг/с) определяется по формуле:

$$G_0 = \mu \rho A_{hol} \sqrt{2 \Delta P / \rho + 2g(h_0 - h_{hol})}. \quad (\text{П4.10})$$

Для определения количества жидкости, перелившейся через обвалование, и времени перелива следует проинтегрировать соответствующую систему уравнений, где величина  $\Delta P$  может быть переменной.

### *Истечение сжатого газа*

3. Массовая скорость истечения сжатого газа из резервуара определяется по формулам [1]:

- докритическое истечение:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} \geq \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)}; \quad (\text{П4.11})$$

$$G = A_{hol} \mu \left[ P_V \rho_V \left( \frac{2\gamma}{\gamma-1} \right) \left( \frac{P_a}{P_V} \right)^{2/\gamma} \left\{ 1 - \left( \frac{P_a}{P_V} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right]^{1/2}; \quad (П4.12)$$

- сверхкритическое истечение:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} < \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)}; \quad (П4.13)$$

$$G = A_{hol} \mu \left[ P_V \rho_V \gamma \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2}, \quad (П4.14)$$

где  $G$  – массовый расход, кг/с;  $P_a$  – атмосферное давление, Па;  $P_V$  – давление газа в резервуаре, Па;  $\gamma$  – показатель адиабаты газа;  $A_{hol}$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент истечения (при отсутствии данных допускается принимать равным 0,8);  $\rho_V$  – плотность газа в резервуаре при давлении  $P_V$ , кг/м<sup>3</sup>.

#### *Истечение сжиженного газа из отверстия в резервуаре*

4. Массовая скорость истечения паровой фазы  $G_V$  (кг/с) определяется по формуле [1]:

$$G_V = \mu A_{hol} \sqrt{\left( \frac{P_c M}{RT_c} \right) P_c (0,167 P_R^5 + 0,534 P_R^{1,95})}, \quad (П4.15)$$

где  $\mu$  – коэффициент истечения;  $A_{hol}$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>;  $P_c$  – критическое давление сжиженного газа, Па;  $M$  – молярная масса, кг/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(К · моль);  $T_c$  – критическая температура сжиженного газа, К;  $P_R = P_V/P_c$  – безразмерное давление сжиженного газа в резервуаре;  $P_V$  – давление сжиженного газа в резервуаре, Па.

Массовую скорость истечения паровой фазы можно также определять по формулам (П4.11)–(П4.14).

Массовая скорость истечения жидкой фазы  $G_L$  (кг/с) определяется по формуле:

$$G_L = G_V \frac{\sqrt{\left(\frac{\rho_L}{\rho_V}\right) P_R}}{(1,22 T_R^{3/2})}, \quad (\text{П4.16})$$

где  $\rho_L$  – плотность жидкой фазы, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_V$  – плотность паровой фазы, кг/м<sup>3</sup>;  $T_R = T/T_c$  – безразмерная температура сжиженного газа;  $T$  – температура сжиженного газа в резервуаре, К.

*Растекание жидкости  
при квазимгновенном разрушении резервуара*

5. Под квазимгновенным разрушением резервуара следует понимать внезапный (в течение секунд или долей секунд) распад резервуара на приблизительно равные по размеру части. При такой пожароопасной ситуации часть хранимой в резервуаре жидкости может перелиться через обвалование.

Ниже представлена математическая модель, позволяющая оценить долю жидкости, перелившейся через обвалование при квазимгновенном разрушении резервуара [1].

Приняты следующие допущения:

- рассматривается плоская одномерная задача;
- время разрушения резервуара намного меньше характерного времени движения гидродинамической волны до обвалования;
- жидкость является невязкой;
- трение жидкости о поверхность земли отсутствует;
- поверхность земли является плоской, горизонтальной.

Система уравнений, описывающих движение жидкости, имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(h - h_G) u] = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u^2}{2} + g \cdot h \right) = 0, \end{cases} \quad (\text{П4.17})$$

где  $h$  – высота столба жидкости над фиксированным уровнем, м;  $h_G$  – высота подстилающей поверхности над фиксированным уровнем, м;  $u$  – средняя по высоте скорость движения столба жидкости, м/с;  $x$  – координата вдоль направления движения жидкости, м;  $t$  – время, с;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$ , м/с<sup>2</sup>.

Граничные условия с учетом геометрии задачи (рис. П4.2) имеют вид:

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad (\text{П4.18})$$

$$u|_{x=0} = 0; \quad (\text{П4.19})$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=b} = 0; \quad (\text{П4.20})$$

$$u|_{x=b} = \begin{cases} g^{1/2} (h - a)^{3/2} / h, & \text{если } h > a \\ 0, & \text{если } h \leq a, \end{cases} \quad (\text{П4.21})$$

где  $a$  – высота обвалования.

Массовая доля жидкости  $Q$  (%), перелившейся через обвалование к моменту времени  $t$ , определяется по формуле:

$$Q = 100 \frac{\int_0^t u_N (h_N - a) dt}{h_0 R}, \quad (\text{П4.22})$$

где  $u_N$  – средняя по высоте скорость движения столба жидкости при  $x = b$ , м/с;  $h_N$  – высота столба жидкости при  $x = b$ , м;  $h_0$  – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м;  $R$  – ширина резервуара, м.

График расчетной и экспериментальной зависимостей массовой доли перелившейся через обвалование жидкости  $Q$  от параметра  $a/h_0$  представлен на рис. П4.3.

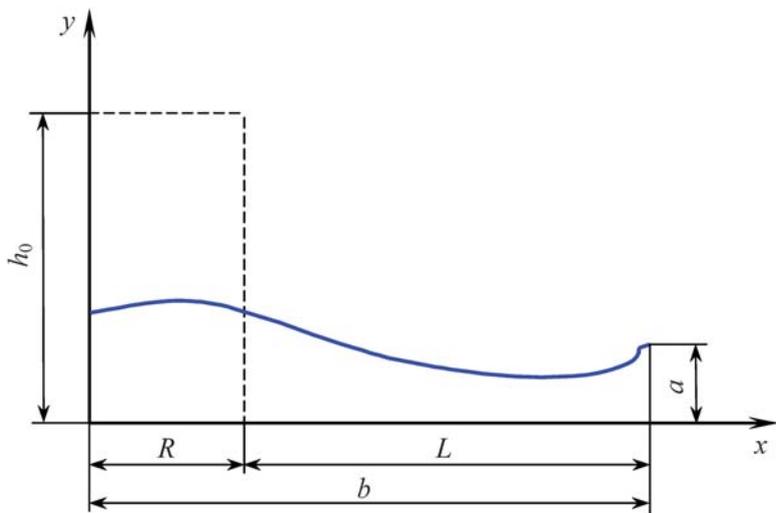


Рис. П4.2. Типичная картина движения жидкости в обваловании при квазимгновенном разрушении резервуара:

- уровень начального столба жидкости;
- уровень жидкости в промежуточный момент времени (результаты расчета)

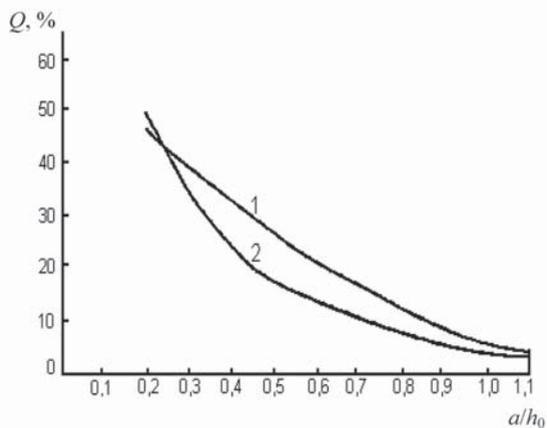


Рис. П4.3. Зависимость доли перелившейся через обвалование жидкости  $Q$  от параметра  $a/h_0$ :

1 – расчет; 2 – эксперимент

Оценка массы перелившейся через обвалование жидкости может быть проведена по следующей формуле:

$$\frac{M_p}{M_0} = 0,35 \left[ 0,9 + \left( \frac{R}{L} \right)^2 - \frac{a}{h_0} \right]^3, \quad (\text{П4.22.1})$$

где  $M_0$  и  $M_p$  – соответственно, масса пролитой и перелившейся жидкости, кг.

## ***II. Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций***

б. Количество поступивших в окружающее пространство горючих веществ, которые могут образовать взрывоопасные газопаровоздушные смеси или проливы горючих сжиженных газов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на подстилающей поверхности, определяется исходя из следующих предпосылок:

а) происходит расчетная авария одного из резервуаров (аппаратов) или трубопровода;

б) все содержимое резервуара (аппарата, трубопровода) или часть продукта (при соответствующем обосновании) поступает в окружающее пространство. При этом в случае наличия на объекте нескольких аппаратов (резервуаров) расчет следует проводить для каждого резервуара (аппарата);

в) при разгерметизации резервуара (аппарата) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих резервуар по прямому и обратному потоку в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов. Расчетное время отключения трубопроводов определяется в каждом конкретном случае исходя из реальной обстановки и должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорные устройства и их надежности, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

При отсутствии данных допускается расчетное время отключения технологических трубопроводов принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;

- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

- 300 с при ручном отключении;

г) в качестве расчетной температуры при пожароопасной ситуации с наземно расположенным оборудованием допускается принимать максимально возможную температуру воздуха в соответствующей климатической зоне, а при пожароопасной ситуации с подземно расположенным оборудованием – температуру грунта, условно равную максимальной среднемесячной температуре окружающего воздуха в наиболее теплое время года;

д) длительность испарения жидкости с поверхности пролива принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Для проливов жидкости до 20 кг время испарения допускается принимать равным 900 с.

Допускается использование показателей пожаровзрывоопасности для смесей веществ и материалов по наиболее опасному компоненту.

#### *Разгерметизация надземного резервуара*

7. Масса жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, определяется по формуле:

$$m_a = \rho_L \cdot V_R, \quad (\text{П4.23})$$

где  $m_a$  – масса жидкости, кг;  $\rho_L$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $V_R$  – объем жидкости в резервуаре, м<sup>3</sup>.

Масса жидкости, поступившей самотеком при полном разрушении наземного или надземного трубопровода, выходящего из резервуара, определяется по формулам:

$$m_a = G_L \tau + \frac{\pi}{4} d_p^2 \left( \sum_{i=1}^n L_i \right) \rho_L, \quad (\text{П4.24})$$

где

$$G_L = \mu \frac{\pi}{4} d_p^2 \sqrt{2 \rho_L \Delta P_R}, \quad (\text{П4.25})$$

где

$$\Delta P_R = h_L \cdot \rho_L \cdot g, \quad (\text{П4.26})$$

где  $G_L$  – начальный расход жидкости, истекающей из резервуара через разгерметизированный трубопровод, кг/с;  $\mu$  – коэффициент истечения;  $\tau$  – расчетное время отключения трубопроводов, связанных с местом разгерметизации, с;  $d_p$  – диаметр трубопроводов, м (в случае различных диаметров трубопроводов, связанных с местом разгерметизации, объем выходящей жидкости рассчитывается для каждого трубопровода в отдельности);  $L_i$  – длина  $i$ -го участка трубопровода от запорного устройства до места разгерметизации, м;  $n$  – число участков трубопроводов, связанных с местом разгерметизации;  $\Delta P_R$  – напор столба жидкости в резервуаре, Па;  $h_L$  – высота столба жидкости (от верхнего уровня жидкости в резервуаре до уровня места разгерметизации), м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

При проливе на неограниченную поверхность площадь пролива  $F_{\text{пр}}$  ( $\text{м}^2$ ) жидкости определяется по формуле

$$F_{\text{пр}} = f_p \cdot V_{\text{ж}}, \quad (\text{П4.27})$$

где  $f_p$  – коэффициент разлития,  $\text{м}^{-1}$  (при отсутствии данных допускается принимать равным  $5 \text{ м}^{-1}$  при проливе на неспланированную грунтовую поверхность,  $20 \text{ м}^{-1}$  при проливе на спланированное грунтовое покрытие,  $150 \text{ м}^{-1}$  при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие);  $V_{\text{ж}}$  – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара,  $\text{м}^3$ .

*Масса паров ЛВЖ,  
выходящих через дыхательную арматуру*

8. В случае наполнения резервуара масса паров определяется по формуле

$$m_V = \rho_V \cdot V_R \cdot P_H / P_0, \quad (\text{П4.28})$$

где

$$\rho_V = \frac{M}{V_0 (1 + 0,00367t_0)}, \quad (\text{П4.29})$$

где  $m_V$  – масса выходящих паров ЛВЖ, кг;  $\rho_V$  – плотность паров ЛВЖ, кг/м<sup>3</sup>;  $P_H$  – давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа, определяемое по справочным данным;  $P_0$  – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101);  $V_R$  – геометрический объем паровоздушного пространства резервуара (при отсутствии данных допускается принимать равным геометрическому объему резервуара), м<sup>3</sup>;  $M$  – молярная масса паров ЛВЖ, кг/кмоль;  $V_0$  – мольный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup>/кмоль;  $t_0$  – расчетная температура, °С.

*Масса паров ЛВЖ при испарении  
со свободной поверхности в резервуаре*

9. Масса паров ЛВЖ при испарении со свободной поверхности в резервуаре определяется по формуле

$$m_V = G_V \cdot \tau_E, \quad (\text{П4.30})$$

где  $G_V$  – расход паров ЛВЖ, кг/с, который определяется по формуле

$$G_V = F_R \cdot W, \quad (\text{П4.31})$$

где  $\tau_E$  – время поступления паров из резервуара, с;  $F_R$  – максимальная площадь поверхности испарения ЛВЖ в резервуаре, м<sup>2</sup>;  $W$  – интенсивность испарения ЛВЖ, кг/(м<sup>2</sup> · с) (определяется в соответствии с разд. VIII настоящего Приложения).

### III. Максимальные размеры взрывоопасных зон

10. Радиус  $R_{\text{НКПР}}$  (м) и высота  $Z_{\text{НКПР}}$  (м) зоны, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), при неподвижной воздушной среде определяются по формулам:

для горючих газов (далее – ГГ) –

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left( \frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} ; \quad (\text{П4.32})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \left( \frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} , \quad (\text{П4.33})$$

для паров ЛВЖ –

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left( \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} ; \quad (\text{П4.34})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \left( \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} , \quad (\text{П4.35})$$

где  $m_{\text{Г}}$  – масса ГГ, поступивших в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;  $\rho_{\text{Г}}$  – плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м<sup>3</sup>;  $m_{\text{П}}$  – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения по п. 6 настоящего Приложения, кг;  $\rho_{\text{П}}$  – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{НКПР}}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров, % (об.).

За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают геометрический центр пролива, а в случае если  $R_{\text{НКПР}}$  меньше габаритных размеров пролива – внешние габаритные размеры пролива.

При необходимости может быть учтено влияние различных метеорологических условий на размеры взрывоопасных зон.

#### **IV. Определение параметров волны давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака**

11. Методика количественной оценки параметров воздушных волн давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака (далее – облако) распространяется на случаи выброса горючих газов, паров или пыли в атмосферу на производственных объектах.

Основными структурными элементами алгоритма расчетов являются:

- определение ожидаемого режима сгорания облака;
- расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных волн давления для различных режимов;
- определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;
- оценка поражающего воздействия.

Исходными данными для расчета параметров волн давления при сгорании облака являются:

- вид горючего вещества, содержащегося в облаке;
- концентрация горючего вещества в смеси  $C_p$ ;
- стехиометрическая концентрация горючего вещества в смеси с воздухом  $C_{ст}$ ;
- масса горючего вещества  $M_T$ , содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени. Допускается величину  $M_T$  принимать равной массе горючего вещества, содержащегося в облаке, с учетом коэффициента  $Z$  участия горючего вещества во взрыве. При отсутствии данных коэффициент  $Z$  может быть принят равным 0,1. При струйном стационарном истечении горючего газа величину  $M_T$  следует рассчитывать с учетом стационарного распределения концентраций горючего газа в струе;
- удельная теплота сгорания горючего вещества  $E_{уд}$ ;
- скорость звука в воздухе  $C_0$  (обычно принимается равной 340 м/с);

- информация о степени загроможденности окружающего пространства;

- эффективный энергозапас горючей смеси  $E$ , который определяется по формуле

$$E = \begin{cases} M_T E_{уд}, & C_T \leq C_{ст} \\ M_T E_{уд} \frac{C_{ст}}{C_T}, & C_T > C_{ст}. \end{cases} \quad (\text{П4.36})$$

При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается.

#### *Определение ожидаемого режима сгорания облака*

12. Ожидаемый режим сгорания облака зависит от типа горючего вещества и степени загроможденности окружающего пространства.

#### *Классификация горючих веществ по степени чувствительности*

13. Вещества, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов разделены на четыре класса:

класс 1 – особо чувствительные вещества (размер детонационной ячейки – менее 2 см);

класс 2 – чувствительные вещества (размер детонационной ячейки лежит в пределах от 2 до 10 см);

класс 3 – средне чувствительные вещества (размер детонационной ячейки лежит в пределах от 10 до 40 см);

класс 4 – слабо чувствительные вещества (размер детонационной ячейки больше 40 см).

Классификация наиболее распространенных в промышленном производстве горючих веществ приведена в табл. П4.1. В случае, если вещество не внесено в классификацию, его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в списке веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества, его следует отнести к классу 1, т. е. рассматривать наиболее опасный случай.

**Классификация наиболее распространенных  
в промышленном производстве горючих веществ**

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
Ацетилен	Акрилонитрил	Ацетальдегид	Аммиак
Винилацетилен	Акролеин	Ацетон	Бензол
Водород	Бутан	Бензин	Декан
Гидразин	Бутилен	Винилацетат	Дизтопливо
Изопропилнитрат	Бутадиен	Винилхлорид	о-Дихлорбензол
Метилацетилен	1,3-Пентадиен	Гексан	Додекан
Нитрометан	Пропан	Генераторный газ	Керосин
Окись пропилена	Пропилен	Изооктан	Метан
Окись этилена	Сероуглерод	Метиламин	Метилбензол
Этилнитрат	Этан	Метилацетат	Метилмеркаптан
	Этилен	Метилбутилкетон	Метилхлорид
	Эфиры:	Метилпропил- кетон	Нафталин
	диметиловый	Метилэтилкетон	Окись углерода
	дивиниловый	Октан	Фенол
	метилбутиловый	Пиридин	Хлорбензол
	диэтиловый	Сероводород	Этиленбензол
	диизопропило- вый	Спирты:	Дихлорэтан
	Широкая	метиловый	Трихлорэтан
	фракция легких	этиловый	
	углеводородов	пропиловый	
		амиловый	
		изобутиловый	
		изопропиловый	
		Циклогексан	
		Этилформиат	
		Этилхлорид	
		Сжиженный	
		природный газ	
		Кумол	
		Печной газ	
		Циклопропан	
		Этиламин	

14. При оценке масштабов поражения волнами давления должно учитываться различие химических соединений по теплоте сгорания, используемой для расчета полного запаса энергосодержания. Для типичных углеводородов при-

нимается в расчет значение удельной теплоты сгорания  $E_{уд0} = 44$  МДж/кг. Для иных горючих веществ в расчетах используется удельное энерговыведение  $E_{уд} = \beta E_{уд0}$ . В данном случае  $\beta$  – корректировочный параметр. Для условно выделенных классов горючих веществ величины параметра  $\beta$  представлены в табл. П4.2.

Таблица П4.2

**Величины параметра  $\beta$  для условно выделенных классов горючих веществ**

Классы горючих веществ	$\beta$	Классы горючих веществ	$\beta$
<b>Класс 1</b>		<b>Класс 3</b>	
Ацетилен	1,10	Гексан	1,00
Метилацетилен	1,05	Спирт метиловый	0,52
Винилацетилен	1,03	Спирт этиловый	0,62
Окись этилена	0,62	Спирт пропиловый	0,69
Гидразин	0,44	Спирт изопропиловый	0,69
Изопропилнитрат	0,41	Спирт изобутиловый	0,79
Этилнитрат	0,30	Изооктан	1,00
Водород	2,73	Пиридин	0,77
Нитрометан	0,25	Циклопропан	1,00
Окись пропилена	0,70	Этиламин	0,80
<b>Класс 2</b>		Метилацетат	0,53
Этилен	1,07	Метилбутилкетон	0,79
Диэтилэфир	0,77	Метилпропилкетон	0,76
Дивинилэфир	0,77	Метилэтилкетон	0,71
Окись пропилена	0,70	Этилформиат	0,46
Акролеин	0,62	Этилхлорид	0,43
Сероуглерод	0,32	Сжиженный природный газ	1,00
Бутан	1,04	Печной газ	0,09
Бутилен	1,00	Генераторный газ	0,38
Бутадиен	1,00	<b>Класс 4</b>	
1,3-Пентадиен	1,00	Метан	1,14
Этан	1,08	Трихлорэтан	0,14
Диметилэфир	0,66	Метилхлорид	0,12
Диизопропиловый эфир	0,82	Бензол	0,88
ШФЛУ	1,00	Декан	1,00
Пропилен	1,04	Додекан	1,00
Пропан	1,05	Метилбензол	1,00

Классы горючих веществ	$\beta$	Классы горючих веществ	$\beta$
Акрилонитрил	0,67	Метилмеркаптан	0,53
<b>Класс 3</b>		Окись углерода	0,23
Винилхлорид	0,42	Дихлорэтан	0,25
Сероводород	0,34	Дихлорбензол	0,42
Ацетон	0,65	Аммиак	0,42
Кумол	0,84	Дизтопливо	1,00
Метиламин	0,70	Керосин	1,00
Циклогексан	1,00	Нафталин	0,91
Ацетальдегид	0,56	Фенол	0,92
Октан	1,00	Хлорбензол	0,52
Винилацетат	0,51	Этилбензол	0,90
Бензин	1,00		

*Классификация окружающего пространства  
по степени загроможденности*

15. Характером загроможденности окружающего пространства в значительной степени определяется скорость распространения пламени при сгорании облака и, следовательно, параметры волны давления. Характеристики загроможденности окружающего пространства разделяются на четыре класса:

- класс I – наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой возможно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания, имеющих размеры не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси. Если размер детонационной ячейки для данной смеси неизвестен, то минимальный характерный размер струй принимается равным 5 см для веществ класса 1; 20 см – для веществ класса 2; 50 см – для веществ класса 3; 150 см – для веществ класса 4;

- класс II – сильно загроможденное пространство: наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий;

- класс III – средне загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк;
- класс IV – слабо загроможденное и свободное пространство.

*Классификация режимов сгорания облака*

16. Для оценки воздействия сгорания облака возможные режимы сгорания разделяются на шесть классов по диапазонам скоростей их распространения следующим образом:

- класс 1 – детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и более;
- класс 2 – дефлаграция, скорость фронта пламени 300–500 м/с;
- класс 3 – дефлаграция, скорость фронта пламени 200–300 м/с;
- класс 4 – дефлаграция, скорость фронта пламени 150–200 м/с;
- класс 5 – дефлаграция, скорость фронта пламени определяется по формуле

$$u = k_1 \cdot M^{1/6}, \quad (\text{П4.37})$$

где  $k_1$  – константа, равная 43;  $M$  – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг;

- класс 6 – дефлаграция, скорость фронта пламени определяется по формуле

$$u = k_2 \cdot M^{1/6}, \quad (\text{П4.38})$$

где  $k_2$  – константа, равная 26;  $M$  – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг.

17. Ожидаемый режим сгорания облака определяется с помощью табл. П4.3 в зависимости от класса горючего вещества и класса загроможденности окружающего пространства.

**Ожидаемый режим сгорания облака в зависимости  
от класса горючего вещества и класса загроможденности  
окружающего пространства**

Класс горючего вещества	Класс загроможденности окружающего пространства			
	I	II	III	IV
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

При определении максимальной скорости фронта пламени для режимов сгорания 2–4 классов дополнительно рассчитывается видимая скорость фронта пламени по соотношению (П4.37). В том случае, если полученная величина больше максимальной скорости, соответствующей данному классу, она принимается по формуле (П4.37).

*Расчет максимального избыточного давления  
и импульса фазы сжатия воздушных волн давления*

18. Параметры воздушных волн давления (избыточное давление  $\Delta P$  и импульс фазы сжатия  $I^*$ ) в зависимости от расстояния от центра облака рассчитываются исходя из ожидаемого режима сгорания облака.

*Класс I режима сгорания облака*

19. Рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по формуле

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3}, \quad (\text{П4.39})$$

где  $R$  – расстояние от центра облака, м;  $P_0$  – атмосферное давление, Па;  $E$  – эффективный энергозапас смеси, Дж.

Величины безразмерного давления  $P_x$  и импульс фазы сжатия  $I_x$  определяются по формулам (для газопаровоздушных смесей)

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66 (\ln(R_x)) + 0,260 (\ln(R_x))^2; \quad (\text{П4.40})$$

$$\ln(I_x) = -3,4217 - 0,898(\ln(R_x)) - 0,0096(\ln(R_x))^2. \quad (\text{П4.41})$$

Формулы (П4.40), (П4.41) справедливы для значений  $R_x > 0,2$ . В случае, если  $R_x < 0,2$ , то  $P_x = 18$ , а в формулу (П4.41) вместо  $R_x$  подставляется величина  $R_x = 0,14$ .

Размерные величины избыточного давления и импульса фазы сжатия определяются по формулам

$$\Delta P = P_x \cdot P_0; \quad (\text{П4.42})$$

$$I^+ = I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0. \quad (\text{П4.43})$$

### *Классы 2–6 режима сгорания облака*

Рассчитывается безразмерное расстояние  $R_x$  от центра облака по формуле (П4.39). Рассчитываются величины безразмерного давления  $P_{x1}$  и импульса фазы сжатия  $I_{x1}$  по формулам

$$P_{x1} = \left( \frac{u^2}{C_0^2} \right) \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \left( \frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right); \quad (\text{П4.44})$$

$$I_{x1} = W(1 - 0,4 \cdot W) \left( \frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right); \quad (\text{П4.45})$$

$$W = \frac{u}{C_0} \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right), \quad (\text{П4.46})$$

где  $\sigma$  – степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей допускается принимать равной 7, для пылевоздушных смесей – 4);  $u$  – видимая скорость фронта пламени, м/с.

В случае дефлаграции пылевоздушного облака величина эффективного энергозапаса умножается на коэффициент  $(\sigma - 1)/\sigma$ .

Формулы (П4.44), (П4.45) справедливы для значений  $R_x$ , больших величины  $R_{кр1} = 0,34$ . В случае, если  $R_x < R_{кр1}$ , в формулы (П4.44), (П4.45) вместо  $R_x$  подставляется величина  $R_{кр1}$ .

Размерные величины избыточного давления и импульса фазы сжатия определяются по формулам (П4.42), (П4.43). При этом в формулы (П4.42), (П4.43) вместо  $P_x$  и  $I_x$  подставляются величины  $P_{x1}$  и  $I_{x1}$ .

#### **V. Параметры волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом и воздействии на него очага пожара**

21. Избыточное давление  $\Delta P$  и импульс  $I^+$  в волне давления, образующиеся при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ, ГЖ или сжиженным углеводородным газом (СУГ) в очаге пожара, определяются по формулам

$$\Delta P = P_0 \left( 0,8 \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + 3 \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{m_{\text{пр}}}{r^3} \right); \quad (\text{П4.47})$$

$$I^+ = 123 \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r}; \quad (\text{П4.48})$$

$$m_{\text{пр}} = \left( \frac{E_{\text{eff}}}{4,52} \right) 10^{-6}, \quad (\text{П4.49})$$

где  $r$  – расстояние от центра резервуара, м;  $E_{\text{eff}}$  – эффективная энергия взрыва, рассчитываемая по формуле

$$E_{\text{eff}} = k C_p m (T - T_b), \quad (\text{П4.50})$$

где  $k$  – доля энергии волны давления (допускается принимать равной 0,5);  $C_p$  – удельная теплоемкость жидкости (допускается принимать равной 2000 Дж/(кг · К);  $m$  – масса ЛВЖ, ГЖ или СУГ, содержащаяся в резервуаре, кг;  $T$  – температура жидкой фазы, К;  $T_b$  – нормальная температура кипения, К.

При наличии в резервуаре предохранительного устройства (клапана или мембраны) величина  $T$  определяется по формуле

$$T = \frac{B}{A - \lg P_{\text{val}}} - C_A + 273,15, \quad (\text{П4.51})$$

где  $P_{val}$  – давление срабатывания предохранительного устройства;  $A, B, C_A$  – константы уравнения зависимости давления насыщенных паров жидкости от температуры (константы Антуана), определяемые по справочной литературе. Единицы измерения  $P_{val}$  (кПа, мм рт. ст., атм) должны соответствовать используемым константам Антуана.

## VI. Интенсивность теплового излучения

22. В настоящем разделе приводятся методы расчета интенсивности теплового излучения от пожара пролива на поверхность, огненного шара, а также радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки.

### Пожар пролива

23. Интенсивность теплового излучения  $q$  (кВт/м<sup>2</sup>) для пожара пролива ЛВЖ, ГЖ, сжиженного природного газа (СПГ) или СУГ определяется по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (П4.52)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

Значение  $E_f$  принимается на основе имеющихся экспериментальных данных или по табл. П4.4.

Таблица П4.4

**Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени в зависимости от диаметра очага и удельная массовая скорость выгорания для некоторых жидких углеводородных топлив**

Топливо	$E_f$ , кВт/м <sup>2</sup> , при $d$ , м					$m'$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)
	10	20	30	40	50	
СПГ	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельное топливо	40	32	25	21	18	0,04

*Примечание.* Для диаметров очага менее 10 м или более 50 м следует принимать  $E_f$  такой же, как и для очагов диаметром 10 и 50 м соответственно.

При отсутствии данных для нефти и нефтепродуктов допускается величину  $E_f$  (кВт/м<sup>2</sup>) определять по формуле:

$$E_f = 140 \cdot e^{-0,12d} + 20(1 - e^{-0,12d}), \quad (\text{П4.53})$$

где  $d$  – эффективный диаметр пролива, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину  $E_f$  (кВт/м<sup>2</sup>) определять по формуле:

$$E_f = \frac{0,4 m' H_{\text{сг}}}{\left(1 + 4 \frac{L}{d}\right)}, \quad (\text{П4.53.1})$$

где  $m'$  – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м<sup>2</sup> · с);  $H_{\text{сг}}$  – удельная теплота сгорания, кДж/кг;  $L$  – длина пламени, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину  $m'$  (кг/(м<sup>2</sup> · с)) определять по формуле:

$$m' = \frac{0,001 H_{\text{сг}}}{L_g + C_p(T_b - T_a)}, \quad (\text{П4.53.2})$$

где  $L_g$  – удельная теплота испарения жидкости, кДж/кг;  $C_p$  – удельная теплоемкость жидкости, кДж/(кг · К);  $T_b$  – температура кипения жидкости при атмосферном давлении, К;  $T_a$  – температура окружающей среды, К.

Для многокомпонентных смесей жидкостей допускается определение значений  $E_f$  и  $m'$  по компонентам, для которых величины  $E_f$  и  $m'$  максимальны.

Угловой коэффициент облученности  $F_q$  определяется по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (\text{П4.54})$$

где  $F_V$ ,  $F_H$  – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, которые для площадок, расположенных в 90°-ом секторе в направлении наклона пламени, определяются по формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \left\{ -E \operatorname{arctg} D + E \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1+a \sin \theta)}{AB} \right] \operatorname{arctg} \left( \frac{AD}{B} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\cos \theta}{C} \left[ \operatorname{arctg} \left( \frac{ab - F^2 \sin \theta}{FC} \right) + \operatorname{arctg} \left( \frac{F^2 \sin \theta}{FC} \right) \right] \right\} \quad (\text{П4.55})$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left\{ \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \left[ \operatorname{arctg} \left( \frac{ab - F^2 \sin \theta}{FC} \right) + \operatorname{arctg} \left( \frac{F^2 \sin \theta}{FC} \right) - \right] \right. \\ \left. - \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2(b+1 + ab \sin \theta)}{AB} \right] \operatorname{arctg} \left( \frac{AD}{B} \right) \right\}, \quad (\text{П4.56})$$

$$a = \frac{2L}{d}, \quad (\text{П4.57})$$

$$b = \frac{2X}{d}, \quad (\text{П4.57.1})$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \sin \theta)}, \quad (\text{П4.57.2})$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \sin \theta)}, \quad (\text{П4.57.3})$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cos^2 \theta)}, \quad (\text{П4.57.4})$$

$$D = \sqrt{\left( \frac{b-1}{b+1} \right)}, \quad (\text{П4.57.5})$$

$$E = \frac{a \cos \theta}{b - a \sin \theta}, \quad (\text{П4.57.6})$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)}, \quad (\text{П4.57.7})$$

где  $X$  – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м;  $d$  – эффективный диаметр пролива, м;  $L$  – длина пламени, м;  $\theta$  – угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра.

Для площадок, расположенных вне указанного сектора, а также в случаях отсутствия ветра факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок рассчитываются по формулам (3.55)–(3.57.7), (3.59.1) принимая  $\theta = 0$ .

Эффективный диаметр пролива  $d$  (м) рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (\text{П4.58})$$

где  $F$  – площадь пролива,  $\text{м}^2$ .

Длина пламени  $L$  (м) определяется по формулам:

при  $u_* \geq 1$

$$L = 55 d \left( \frac{m'}{\rho_a \sqrt{gd}} \right)^{0,67} u_*^{0,21}, \quad (\text{П4.59})$$

при  $u_* < 1$

$$L = 42 d \left[ \frac{m'}{\rho_a \sqrt{gd}} \right]^{0,61}, \quad (\text{П4.59.1})$$

где

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m'gd}{\rho_{\Pi}}}}; \quad (\text{П4.60})$$

$m'$  – удельная массовая скорость выгорания топлива,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $\rho_a$  – плотность окружающего воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_{\Pi}$  – плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $w_0$  – скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ).

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра  $\theta$  рассчитывается по формуле:

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases} \quad (\text{П4.61})$$

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  для пожара пролива определяется по формуле:

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4}(X - 0,5d)]. \quad (\text{П4.62})$$

### *Огненный шар*

24. Интенсивность теплового излучения  $q$  (кВт/м<sup>2</sup>) для огненного шара определяется по формуле (П3.52).

Величина  $E_f$  определяется на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать  $E_f$  равной 350 кВт/м<sup>2</sup>.

Значение  $F_q$  определяется по формуле:

$$F_q = \frac{D_S^2}{4(H^2 + r^2)}, \quad (\text{П4.63})$$

где  $H$  – высота центра огненного шара, м;  $D_S$  – эффективный диаметр огненного шара, м;  $r$  – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр огненного шара  $D_S$  (м) определяется по формуле:

$$D_S = 6,48 m^{0,325}, \quad (\text{П4.64})$$

где  $m$  – масса продукта, поступившего в окружающее пространство, кг.

Величину  $H$  допускается принимать равной  $D_S$ .

Время существования огненного шара  $t_s$  (с) определяется по формуле:

$$t_s = 0,852 m^{0,26}. \quad (\text{П4.65})$$

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  для огненного шара рассчитывается по формуле:

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4}(\sqrt{r^2 + H^2} - D_S/2)]. \quad (\text{П4.66})$$

## **VII. Определение радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки**

25. В случае образования паровоздушной смеси в незагроможденном технологическим оборудованием пространстве и его зажигании относительно слабым источником (например, искрой) сгорание этой смеси происходит, как правило, с небольшими видимыми скоростями пламени. При этом амплитуды волны давления малы и могут не приниматься во внимание при оценке поражающего воздействия. В этом случае реализуется так называемый пожар-вспышка, при котором зона поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси практически совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания (т. е. поражаются в основном объекты, попадающие в это облако). Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке  $R_F$  определяется формулой

$$R_F = 1,2 R_{\text{НКПР}} \quad (\text{П4.67})$$

где  $R_{\text{НКПР}}$  – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, определяемый по п. 10 настоящего Приложения.

## **VIII. Испарение жидкости и СУГ из пролива**

26. Интенсивность испарения  $W$  (кг/(м<sup>2</sup> · с)) для ненагретых жидкостей определяется по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n, \quad (\text{П4.68})$$

где  $\eta$  – коэффициент, принимаемый для помещений по табл. П4.5 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения.

При проливе жидкости вне помещения допускается принимать  $\eta = 1$ ;  $M$  – молярная масса жидкости, кг/кмоль;  $P_n$  – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

**Значение коэффициента  $\eta$  в зависимости  
от скорости и температуры воздушного потока  
над поверхностью испарения**

Скорость воздушного потока, м/с	Значение коэффициента $\eta$ при температуре воздуха, $T^{\circ}\text{C}$				
	10	15	20	30	35
0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Давление насыщенных паров при расчетной температуре может быть определено по формуле:

$$P_H = 10^{\left(A - \frac{B}{T_p + C_A}\right)}, \quad (\text{П4.68.1})$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C_A$  – константы уравнения Антуана;  $T_p$  – расчетная температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

В Прил. 1 к настоящему Пособию приведены константы уравнения Антуана для некоторых наиболее распространенных ЛВЖ и ГЖ. В формуле (П.4.68.1) расчетная температура должна находиться в пределах диапазона, для которого приведены константы уравнения Антуана.

27. При выбросе СУГ из оборудования, в котором жидкость находится под давлением, часть продукта за счет внутренней энергии мгновенно испаряется, образуя с капельками жидкости облако аэрозоля. Массовая доля мгновенно испарившейся жидкости  $\delta$  определяется по формуле

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{C_p(T_a - T_b)}{L_g}\right), \quad (\text{П4.69})$$

где  $C_p$  – удельная теплоемкость СУГ, Дж/(кг · К);  $T_a$  – температура окружающего воздуха, К;  $T_b$  – температура кипения СУГ при атмосферном давлении, К;  $L_g$  – удельная теплота парообразования СУГ, Дж/кг.

Принимается, что при  $\delta \geq 0,35$  вся масса жидкости, находящаяся в оборудовании, за счет взрывного характера испарения переходит в паракапельное облако.

При  $\delta < 0,35$  оставшаяся часть жидкости испаряется с поверхности пролива за счет потока тепла от подстилающей поверхности и воздуха.

Интенсивность испарения жидкости со свободной поверхности  $W$  (кг/(м<sup>2</sup> · с)) определяется по формуле

$$W = \frac{(\lambda_s C_s \rho_s)^{0,5} (T_0 - T_b)}{L_g (\pi \cdot t)^{0,5}} + \frac{0,035 u^{0,8} \lambda_a (T_0 - T_b)}{(v_a^{0,8} d^{0,2} L_g)}, \quad (\text{П4.70})$$

где  $\lambda_s$  – коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается жидкость, Вт/(м · К);  $C_s$  – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг · К);  $\rho_s$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $T_0$  – начальная температура материала, К;  $t$  – текущее время с момента начала испарения, с (не менее 10 с);  $\lambda_a$  – коэффициент теплопроводности воздуха при температуре  $T_0$ ;  $u$  – скорость воздушного потока над поверхностью испарения, м/с;  $d$  – характерный диаметр пролива, м;  $v_a$  – кинематическая вязкость воздуха при  $T_0$ , м<sup>2</sup>/с.

### ***IX. Размеры факела при струйном горении***

28. При струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ и СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением возникает опасность образования диффузионных факелов.

Длина факела  $L_F$  (м) при струйном горении определяется по формуле

$$L_F = K \cdot G^{0,4}, \quad (\text{П4.71})$$

где  $G$  – расход продукта, кг/с;  $K$  – эмпирический коэффициент, который при истечении сжатых газов принимается равным 12,5; при истечении паровой фазы СУГ или СПГ – равным 13,5; при истечении жидкой фазы СУГ и СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением – равным 15.

Длина факела при струйном истечении горючих жидкостей определяется дальностью (высотой) струи жидкости.

Ширина факела  $D_F$  (м) при струйном горении определяется по формуле

$$D_F = 0,15 \cdot L_F \quad (\text{П4.72})$$

29. При проведении оценки пожарной опасности горящего факела при струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ, СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением допускается принимать следующее:

- зона непосредственного контакта пламени с окружающими объектами определяется размерами факела;

- длина факела  $L_F$  не зависит от направления истечения продукта и скорости ветра;

- наибольшую опасность представляют горизонтальные факелы, условную вероятность реализации которых следует принимать равной 0,67;

- поражение человека в горизонтальном факеле происходит в 30°-м секторе с радиусом, равным длине факела;

- воздействие горизонтального факела на соседнее оборудование, приводящее к его разрушению (каскадному развитию аварии), происходит в 30°-м секторе, ограниченном радиусом, равным  $L_F$ ;

- за пределами указанного сектора на расстояниях от  $L_F$  до  $1,5 L_F$  тепловое излучение от горизонтального факела составляет 10 кВт/м<sup>2</sup>;

- тепловое излучение от вертикальных факелов может быть определено по формулам (П4.52), (П4.54)–(П4.57.7), (П4.62), принимая  $L$  равным  $L_F$ ,  $d$  равным  $D_F$ ,  $\theta$  равным 0, а  $E_f$  – по формулам (П4.53)–(П4.53.2) или табл. П3.4 в зависимости от вида топлива. При отсутствии данных и невозможности рассчитать  $E_f$  по представленным формулам допускается эту величину принимать равной 200 кВт/м<sup>2</sup>;

- при истечении жидкой фазы СУГ или СПГ из отверстия

с эквивалентным диаметром до 100 мм при мгновенном воспламенении происходит полное сгорание истекающего продукта в факеле без образования пожара пролива;

- область возможного воздействия пожара-вспышки при струйном истечении совпадает с областью воздействия факела ( $30^\circ$ -й сектор, ограниченный радиусом, равным  $L_F$ );

- при мгновенном воспламенении струи газа возможность формирования волн давления допускается не учитывать.

### ***Х. Пожар в котловане***

При разрыве подземного газопровода может реализоваться горение относительно низкоскоростного вертикального или наклонного шлейфа («колонны») газа, образовавшегося в результате смешения двух струй газа, истекающих из концов разорвавшегося трубопровода в едином грунтовом котловане (как правило, в «твердых» грунтах с высокой связностью).

В данном случае пламя пожара моделируется в виде цилиндрического твердого теплового излучателя. Геометрические параметры пламени (длина цилиндра пламени  $L_{\phi}^{(u)}$ , м; эффективный диаметр очага пожара  $D_{\text{эф}}^{(u)}$ , м) определяются путем решения следующей системы уравнений относительно переменных  $L_{\phi}^{(u)}$  и  $D_{\text{эф}}^{(u)}$ :

$$L_{\phi}^{(u)} = 0,23 Q_{\phi}^{0,4} - 1,02 D_{\text{эф}}^{(u)}, \quad (\text{П.4.73})$$

$$D_{\text{эф}}^{(u)} = 0,5 L_{\phi}^{(u)}, \quad (\text{П.4.74})$$

$$Q_{\phi} = G \cdot Q_{\text{н}}^T, \quad (\text{П.4.75})$$

где  $Q_{\phi}$  – общее тепловыделение пожара, кВт;  $Q_{\text{н}}^T$  – низшая теплота сгорания метана, кДж/кг;  $G$  – суммарный массовый расход газа при его аварийном истечении из двух концов разрушенного газопровода на заданный момент времени  $t$  (отсчет времени – от момента разрушения газопровода) или его осреднение за заданный промежуток времени  $\Delta t$ , кг/с.

Угловой коэффициент облученности для данного вида горения рассчитывается по формулам:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (\text{П.4.76})$$

где  $F_V, F_H$  – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, которые определяются по формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{S} \operatorname{arctg} \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right], \quad (\text{П.4.77})$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right], \quad (\text{П.4.78})$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}, \quad (\text{П.4.79})$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2S}, \quad (\text{П.4.80})$$

$$S = \frac{2r}{d}, \quad (\text{П.4.81})$$

$$h = \frac{2H}{d}, \quad (\text{П.4.82})$$

где  $r$  – расстояние от геометрического центра пожара в котловане до облучаемого объекта, м;

$$d = D_{\text{эф}}^{(1)}, \text{ м.}$$

## XI. Горение двух струй газа

При разрыве подземного газопровода может реализоваться горение двух свободных высокоскоростных струй газа (настильных, т. е. с углом наклона оси факела к горизонту не более  $8-10^\circ$ , или наклонных, т. е. с углом наклона к горизонту более  $8-10^\circ$ ), истекающих из двух концов (плетей) разрушенного трубопровода, вырванных их грунта (как правило, из «слабонесущего» грунта с низкой вязкостью) на поверхность земли.

В данном случае пламя пожара моделируется в виде усеченного конуса, наклонного или горизонтального. Для критических условий ( $M = 1$  – число Маха) аварийного истечения газа из одного из концов разрушенного участка газопровода (в аварийном выходном сечении участка трубопровода) (индекс «E») устанавливаются следующие газодинамические параметры потока (скорость, плотность и давление):

$$u_E = a_E = \left[ \frac{2k}{k+1} R T_0 \right]^{1/2}, \quad (\text{П.4.83})$$

$$\rho_E = \rho_E(t) = \frac{G_i}{a_E f_E}, \quad (\text{П.4.84})$$

$$P_E = P_E(t) = \frac{2}{k+1} \rho_E(t) R T_0, \quad (\text{П.4.85})$$

где  $u_E$  – скорость газа в аварийном сечении трубопровода, м/с;  $P_E$  – давление в аварийном сечении трубопровода, Па;  $\rho_E$  – плотность в аварийном сечении трубопровода, кг/м<sup>3</sup>;  $a_E$  – местная скорость звука, м/с;  $f_E = (\pi \cdot d_0^2)/4$  – площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>;  $G_i$  – массовый расход газа для соответствующей струи ( $i = 1$  – первая,  $i = 2$  – вторая), кг/с.

Для правомерности использования формул (П.4.83)–(П.4.85) необходимо проверить выполнения условия  $P_E \geq P_a$ , где  $P_a$  – атмосферное давление, Па. Если данное условие не выполняется, то истечение газа происходит в дозвуковом режиме, размеры зоны загазованности небольшие и ими

можно пренебречь по сравнению с размерами зон, наблюдающимися при звуковом истечении.

После выходного сечения на определенном участке (в пределах нескольких диаметров трубы) при превышении статическим давлением на срезе трубы атмосферного давления происходит изоэнтропическое расширение газа с разгоном потока до сверхзвуковых скоростей ( $M > 1$ ) и формированием системы скачков уплотнения (без изменения расходных характеристик в образующемся струйном течении). Для данного участка течения характерна существенная неравномерность потока. При этом за счет действия скачков уплотнения происходит потеря полного давления. В конце данного участка давление в поперечной плоскости течения выравнивается и становится равным атмосферному. Данное сечение в газовой динамике получил название «изобарическое сечение нерасчетной струи» или «ударная плоскость».

В ударной плоскости (индекс «s») значение газодинамического параметра скорости – числа  $\lambda_s$  определяется как:

$$\lambda_s = 1 + \frac{P_E - P_a}{\rho_E u_E^2}. \quad (\text{П.4.86})$$

Значения температуры, числа Маха, плотности и диаметра эквивалентного сечения струи в ударной плоскости приведены ниже:

$$T_s = T_0 \left( 1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_s^2 \right), \quad (\text{П.4.87})$$

$$M_s = \frac{\lambda_s a_E}{\sqrt{kRT_s}}, \quad (\text{П.4.88})$$

$$\rho_s = \frac{P_a}{RT_s}, \quad (\text{П.4.89})$$

$$D_{\text{эф}}^{(\text{стр})} = d_0 \sqrt{\frac{\rho_E}{\rho_s M_s}}. \quad (\text{П.4.90})$$

Общая длина струи определяется по формуле (П.4.73) с учетом заданной интенсивности истечения  $G_i$ .

Отрыв факела пламени от среза разорванной трубы (отверстия)  $h$ , м, определяется по формуле:

$$h = 0,2 L_{\phi}^{(стр)}. \quad (П.4.91)$$

Длина видимой части пламени (высота усеченного конуса)  $R_L$ , м, определяется по формуле:

$$R_L = L_{\phi}^{(стр)} - h. \quad (П.4.92)$$

Ширина малого основания усеченного конуса  $W_1$ , м, определяется по формуле:

$$W_1 = 15d_0 \left[ 1 - \left[ 1 - \frac{1}{15} \left( \frac{\rho_B}{\rho_r} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right], \quad (П.4.93)$$

где  $\rho_B$  – плотность воздуха при  $P_a$  и 293 К, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_r$  – плотность газа в стандартных условиях, кг/м<sup>3</sup>.

Ширина большого основания усеченного конуса  $W_2$ , м, определяется по формуле:

$$W_2 = 0,26 L_{\phi}^{(стр)}. \quad (П.4.94)$$

Общая длина настильной струи (т. е. горизонтальной струи с источником выброса на уровне земли) рассчитывается по формуле:

$$L_{\phi-наст}^{(стр)} = 1,2 L_{\phi}^{(стр)}. \quad (П.4.95)$$

Угловой коэффициент облученности для данного вида горения рассчитывается по формулам (П.4.76)–(П.4.82), принимая во внимание, что  $d = D_{эф}^{(стр)}$ , м, и  $H = L_{\phi}^{(стр)}$ , м.

**Методы определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетного времени эвакуации**

***I. Метод определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара***

Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара определяется путем выбора из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара минимального времени:

$$\tau_{\text{бл}} = \min\{t_{\text{кр}}^T, t_{\text{кр}}^{\text{П.В}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{Т.Г}}\}. \quad (\text{П5.1})$$

Критическая продолжительность пожара по каждому из опасных факторов определяется как время достижения этим фактором критического значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола. Критические значения по каждому из опасных факторов составляют:

- по повышенной температуре – +70 °С;
- по тепловому потоку – 1400 Вт/м<sup>2</sup>;
- по потере видимости – 20 м;
- по пониженному содержанию кислорода – 0,226 кг · м<sup>-3</sup>;
- по каждому из токсичных газообразных продуктов горения (СО<sub>2</sub> – 0,11 кг · м<sup>-3</sup>; СО – 1,16 · 10<sup>-3</sup> кг · м<sup>-3</sup>; НСl – 23 · 10<sup>-6</sup> кг · м<sup>-3</sup>).

Для описания термогазодинамических параметров пожара могут применяться три вида моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Выбор конкретной модели расчета времени блокирования путей эвакуации следует осуществлять, исходя из следующих предпосылок.

*Интегральный метод:*

- для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;
- для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более, чем в 5 раз);
- для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара.

*Зонный (зональный) метод:*

- для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более, чем в 5 раз), когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения;
- для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (площадки обслуживания оборудования, внутренние этажерки и т. д.).

*Полевой метод:*

- для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (например, многосветные пространства с системой галерей и примыкающих коридоров);
- для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые галереи и т. д.);
- для иных случаев, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара и т. д.).

В настоящее время для проведения расчетов распространения опасных факторов пожара в здании получили широкое распространение программные продукты, реализующие

полевые и зонные модели расчета времени блокирования путей эвакуации. К наиболее широко используемым программным продуктам, реализующим указанные выше модели, следует отнести FDS 6 (Fire Dynamic Simulator – Программа для моделирования динамики развития пожара), моделирующий полевую модель, и CFAST 6 (Consolidated Model of Fire and Smoke Transport – Обобщенная модель распространения огня и дыма), моделирующий зонную модель. Необходимо отметить, что данные программные продукты имеют открытый исходный код и распространяются бесплатно. Перечень необходимых исходных данных для задания свойств очага пожара, выделения дыма и токсичных газообразных продуктов горения в указанных выше программных продуктах на основании документов [10, 19–21] представлен в Прил. 1 к настоящему Пособию.

Вместе с тем, применение данных программных продуктов не исключает проведения расчетов распространения опасных факторов пожара в зданиях посредством других программных средств указанной области применения.

Необходимо отметить, что при использовании полевой модели определение критической продолжительности пожара по условию достижения каждым из опасных факторов пожара предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне) имеет существенные особенности, связанные с тем, что критическое значение в различных точках помещения достигается не одновременно. Для помещений с соизмеримыми размерами время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара допустимо определять как максимальное из соответствующих времен для эвакуационных выходов из данного помещения (время блокирования последнего выхода).

При рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газо-, паро- или пылевоздушной смеси в помещении категории А или Б, условная вероятность поражения человека

в этом помещении принимается равной 1 при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси в этом помещении до завершения эвакуации людей и 0 после завершения эвакуации людей.

При наличии в помещении очага пожара установки автоматического водяного и пенного пожаротушения, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, при проведении расчетов значение скорости выгорания допускается принимать уменьшенным в 2 раза.

При проведении расчетов распространения опасных факторов пожара линейную скорость распространения пламени в первые 10 мин от начала возникновения пожара допускается принимать равной 50 % от ее максимального значения.

При ограничении помещения, в котором находится очаг пожара, противопожарными преградами с заполнением проемов противопожарными дверями допускается принимать, что опасные факторы пожара из помещения очага пожара после завершения эвакуации людей из рассматриваемого помещения не распространяются в течение интервала времени, равного разности предела огнестойкости противопожарных дверей и суммы расчетного времени эвакуации людей из помещения очага пожара при  $j$ -м сценарии пожара и интервала времени от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до начала эвакуации людей из помещения очага пожара:

$$\tau_{\text{локализации}} = EI - (t_{pj} + \tau_{\text{н.э}j}). \quad (\text{П5.2})$$

где  $EI$  – предел огнестойкости противопожарных дверей;  $t_{pj}$  – расчетное время эвакуации людей из помещения очага пожара при  $j$ -м сценарии пожара;  $\tau_{\text{н.э}j}$  – интервал времени от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до начала эвакуации людей из помещения очага пожара.

Для помещения очага пожара, удовлетворяющего критериям применения интегрального метода, критическую продолжительность пожара  $t_{\text{кр}}$  (с) по условию достижения каж-

дым из опасных факторов пожара предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне) можно оценить по формулам:

по повышенной температуре:

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 + \frac{70 - T_0}{(273 + T_0)Z} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.3)$$

по потере видимости:

$$t_{кр}^{П.В.} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ \left( 1 - \frac{V \ln(1,05 \alpha E)}{l_{пр} B D_m Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.4)$$

по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ \left( 1 - \frac{0,044}{\left( \frac{B L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.5)$$

по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{кр}^{Т.Г.} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ \left( 1 - \frac{V X}{B L Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.6)$$

$$B = \frac{353 C_p V}{(1 - \varphi) \eta Q}, \quad (П5.7)$$

где  $T_0$  – начальная температура воздуха в помещении, °С;  $B$  – размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг;  $n$  – показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени;  $A$  – размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего вещества и площадь пожара, кг/с<sup>n</sup>;  $Z$  – безразмерный параметр, учиты-

вающий неравномерность распределения опасного фактора пожара по высоте помещения;  $Q$  – низшая теплота сгорания материала, МДж/кг;  $C_p$  – удельная изобарная теплоемкость воздуха, МДж/кг;  $\varphi$  – коэффициент теплопотерь;  $\eta$  – коэффициент полноты горения;  $V$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  $\alpha$  – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;  $E$  – начальное освещение, лк;  $l_{пр}$  – предельная дальность видимости в дыму, м;  $D_m$  – дымообразующая способность горящего материала, Нп · м<sup>2</sup>/кг;  $L$  – удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг горючего вещества, кг/кг;  $X$  – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг/м<sup>3</sup>;  $L_{O_2}$  – удельный расход кислорода, кг/кг.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. При отсутствии данных допускается свободный объем принимать равным 80 % геометрического объема помещения.

Если под знаком логарифма получается отрицательное число, то данный опасный фактор пожара не представляет опасности.

Параметр  $Z$  определяется по формуле:

$$Z = \frac{h}{H} \exp\left(1,4 \frac{h}{H}\right), \text{ при } H \leq 6 \text{ м}, \quad (\text{П5.8})$$

где  $h$  – высота рабочей зоны, м;  $H$  – высота помещения, м.

Высота рабочей зоны определяется по формуле:

$$h = h_{пл} + 1,7 - 0,5 \delta, \quad (\text{П5.9})$$

где  $h_{пл}$  – высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения, м;  $\delta$  – разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м.

Следует иметь в виду, что наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на более высокой отметке. Поэтому при определении необходимого времени эвакуации следует ориентироваться на наиболее высоко рас-

положенные в помещении участки возможного пребывания людей.

Параметры  $A$  и  $n$  определяются следующим образом:

- для случая горения жидкости с установившейся скоростью:

$$A = \Psi_F F, \text{ при } n = 1; \quad (\text{П5.10})$$

- для случая горения жидкости с неустановившейся скоростью:

$$A = \frac{0,67 \Psi_F F}{\sqrt{\tau_{\text{СТ}}}}, \text{ при } n = 1,5; \quad (\text{П5.11})$$

- для случая кругового распространения пламени по поверхности горючего вещества или материала:

$$A = 1,05 \Psi_F v^2, \text{ при } n = 3; \quad (\text{П5.12})$$

- для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени:

$$A = \Psi_F v b, \text{ при } n = 2, \quad (\text{П5.13})$$

где  $\Psi_F$  – удельная массовая скорость выгорания вещества, кг/(м<sup>2</sup> · с);  $F$  – площадь пролива жидкости, м<sup>2</sup>;  $\tau_{\text{СТ}}$  – время установления стационарного режима горения жидкости, с;  $v$  – линейная скорость распространения пламени, м/с;  $b$  – перпендикулярный к направлению движения пламени размер зоны горения, м.

При отсутствии данных значение  $\tau_{\text{СТ}}$  может быть принято в зависимости от температуры кипения жидкости [18]:

- для жидкостей с температурой кипения до 100 °С – 180 с;
- для жидкостей с температурой кипения от 101 до 150 °С – 240 с;
- для жидкостей с температурой кипения более 150 °С – 360 с.

Случай факельного горения в помещении может рассматриваться как горение жидкости с установившейся скоростью с параметром  $A$  равным массовому расходу истечения горю-

чего вещества из оборудования и показателем степени  $n$  равным 1.

При отсутствии специальных требований значения  $\alpha$  и  $E$  принимаются равными 0,3 и 50 лк соответственно, а  $l_{\text{ПР}} - 20$  м.

При расположении людей на различных по высоте площадках критическую продолжительность пожара следует определять для каждой площадки.

## ***II. Метод определения расчетного времени эвакуации***

Расчетное время эвакуации людей  $t_p$  из помещений и зданий устанавливают по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей непосредственно наружу или в безопасную зону.

Расчетное время эвакуации определяется только для эвакуационных путей и эвакуационных выходов, параметры которых (минимальная ширина и высота) соответствуют требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

При определении расчетного времени эвакуации учитывается пропускная способность всех имеющихся в помещениях, на этажах и в здании эвакуационных выходов.

При расчете весь путь движения людского потока подразделяют на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной  $l_i$  и шириной  $\delta_i$ . Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п. При определении расчетного времени эвакуации учитывается пропускная способность всех имеющихся в помещениях, на этажах и в здании эвакуационных выходов.

При определении расчетного времени длину и ширину каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий и сооружений принимают по проекту, а для существующих – по факту. Длину пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряют по длине марша. Длину пути в дверном проеме принимают равной нулю. Проем, расположенный

в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельными участками горизонтального пути, имеющими конечную длину  $l_i$ .

Расчетное время эвакуации людей  $t_p$  следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути  $t_i$  по формуле

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (\text{П5.14})$$

где  $t_1$  – время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин;  $t_2, t_3, \dots, t_i$  – время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути  $t_1$ , мин, определяется по формуле

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1}, \quad (\text{П5.15})$$

где  $l_1$  – длина первого участка пути, м;  $v_1$  – скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяют по табл. П5.1 в зависимости от плотности  $D$ ).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути  $D_1$ , определяется по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 f}{l_1 \delta_1}, \quad (\text{П5.16})$$

где  $N_1$  – число людей на первом участке, чел.;  $f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $\text{м}^2$ , принимаемая равной 0,125;  $\delta_1$  – ширина первого участка пути, м.

Скорость  $v_1$  движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают по табл. П5.1 в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которая определяется для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле

$$q_i = \frac{q_{i-1} \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П5.17})$$

где  $\delta_i, \delta_{i-1}$  – ширина рассматриваемого  $i$ -го и предшествующего ему участка пути, м;  $q_i, q_{i-1}$  – интенсивности движения людского потока по рассматриваемому  $i$ -му и предшествующему участкам пути, м/мин.

Интенсивность движения людского потока на первом участке пути  $q = q_{i-1}$  определяют по табл. П5.1 по значению  $D_1$ , установленному по формуле (П5.16).

Таблица П5.1

**Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности потока**

Плотность потока $D, \text{ м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность $q, \text{ м}/\text{мин}$	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость $v, \text{ м}/\text{мин}$	Интенсивность $q, \text{ м}/\text{мин}$		Скорость $v, \text{ м}/\text{мин}$	Интенсивность $q, \text{ м}/\text{мин}$	Скорость $v, \text{ м}/\text{мин}$	Интенсивность $q, \text{ м}/\text{мин}$
0,01	100	1,0	1,00	100,0	1,0	60,0	0,60
0,05	100	5,0	5,00	100,0	5,0	60,0	3,00
0,10	80	8,0	8,70	95,0	9,5	53,0	5,30
0,20	60	12,0	13,40	68,0	13,6	40,0	8,00
0,30	47	14,1	16,50	52,0	15,6	32,0	9,60
0,40	40	16,0	18,40	40,0	16,0	26,0	10,40
0,50	33	16,5	19,60	31,0	15,6	22,0	11,00
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,70	23	16,1	18,50	18,0	12,6	15,0	10,50
0,80	19	15,2	17,30	13,0	10,4	13,0	10,40
0,90 и более	15	13,5	8,50	8,0	7,2	11,0	9,90

*Примечание.* Интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равная 8,5 м/мин, установлена для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины интенсивность движения следует определять по формуле  $q_i = 2,5 + 3,75 \cdot \delta$ .

Если значение  $q_i$ , определяемое по формуле (П5.17), меньше или равно  $q_{\max}$ , то время движения по участку пути  $t_i$ , мин, равно

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}, \quad (\text{П5.18})$$

при этом значения  $q_{\max}$ , м/мин, следует принимать равными:

- 16,5 – для горизонтальных путей;
- 19,6 – для дверных проемов;
- 16,0 – для лестницы вниз;
- 11,0 – для лестницы вверх.

Если значение  $q_i$ , определенное по формуле (П5.17), больше  $q_{\max}$ , то ширину  $\delta_i$  данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (\text{П5.19})$$

При невозможности выполнения условия (П5.19) интенсивность и скорость движения людского потока по участку  $i$  определяют по табл. П5.1 при значении  $D = 0,9$  и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

Время задержки  $t_{\text{зад}}$  движения на участке  $i$  из-за образовавшегося скопления людей на границе с последующим участком ( $i + 1$ ) определяется по формуле

$$t_{\text{зад}}^i = Nf \left( \frac{1}{q_D \delta_{i+1}} - \frac{1}{q_i \delta_i} \right), \quad (\text{П5.20})$$

где  $N$  – количество людей, чел.;  $f$  – площадь горизонтальной проекции, м<sup>2</sup>;  $q_D$  – интенсивность движения через участок ( $i+1$ ) при плотности 0,9 и более, м/мин;  $\delta_{i+1}$  – ширина участка, м, при вхождении на который образовалось скопление людей;  $q_i$  – интенсивность движения на участке  $i$ , м/мин;  $\delta_i$  – ширина предшествующего участка  $i$ , м.

Время существования скопления  $t_{\text{ск}}$  на участке  $i$  определяется по формуле

$$t_{\text{ск}} = \frac{Nf}{q_D b_{i+1}}. \quad (\text{П5.21})$$

Расчетное время эвакуации по участку  $i$ , в конце которого на границе с участком  $(i+1)$  образовалось скопление людей, равно времени существования скопления  $t_{\text{ск}}$ . Расчетное время эвакуации по участку  $i$  допускается определять по формуле

$$t_i = \frac{l_i}{v_i} + t_{\text{зад}}. \quad (\text{П5.22})$$

При слиянии в начале участка  $i$  двух и более людских потоков (рис. П5.1) интенсивность движения  $q_i$ , м/мин, определяется по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П5.23})$$

где  $q_{i-1}$  – интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале участка  $i$ , м/мин;  $\delta_{i-1}$  – ширина участков пути слияния, м;  $\delta_i$  – ширина рассматриваемого участка пути, м.

Если значение  $q_i$ , определенное по формуле (П5.23), больше  $q_{\text{max}}$ , то ширину  $\delta_i$  данного участка пути следует увеличивать на такое значение, чтобы соблюдалось условие (П5.19).

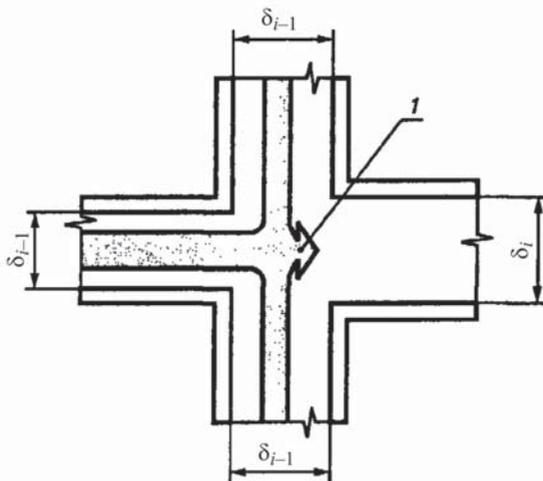


Рис. П5.1. Слияние людских потоков:

$I$  — начало участка  $i$

### **Детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей**

На объектах наиболее опасными поражающими факторами пожара являются волна давления и расширяющиеся продукты сгорания при различных режимах сгорания газо-, паро- или пылевоздушного облака, а также тепловое излучение пожаров.

Детерминированные критерии показывают значения параметров опасного фактора пожара, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения людей.

В случае использования детерминированных критериев условная вероятность поражения принимается равной 1, если значение критерия превышает предельно допустимый уровень, и равной 0, если значение критерия не превышает предельно допустимый уровень поражения людей.

Вероятностные критерии показывают, какова условная вероятность поражения людей при заданном значении опасного фактора пожара.

Ниже приведены некоторые критерии поражения людей перечисленными выше опасными факторами пожара.

#### ***1. Критерии поражения волной давления***

Детерминированные критерии поражения людей, в том числе находящихся в здании, избыточным давлением при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей в помещениях или на открытом пространстве приведены в табл. Пб.1.

Таблица Пб.1

**Детерминированные критерии поражения людей  
избыточным давлением при сгорании газо-, паро- или  
пылевоздушных смесей**

Степень поражения	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение зданий	100
50%-ное разрушение зданий	53
Средние повреждения зданий	28
Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т. п.)	12
Нижний порог повреждения человека волной давления	5
Малые повреждения (разбита часть остекления)	3

В качестве вероятностного критерия поражения используется понятие пробит-функции. В общем случае пробит-функция  $P_r$  описывается формулой

$$P_r = a + b \ln S, \quad (\text{Пб.1})$$

где  $a$ ,  $b$  – константы, зависящие от степени поражения и вида объекта;  $S$  – интенсивность воздействующего фактора.

Соотношения между величиной  $P_r$  и условной вероятностью поражения человека приведены в табл. Пб.2.

Таблица Пб.2

**Соотношения между величиной  $P_r$   
и условной вероятностью поражения человека**

Условная вероятность поражения, %	Величина пробит-функции $P_r$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

При отсутствии в табл. Пб.2 необходимых данных значения условной вероятности поражения человека  $Q_{dj}(a)$  в зависимости от значения пробит-функции Pr определяются по формуле

$$Q_{dj}(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU. \quad (\text{Пб.2})$$

При воздействии волны давления на человека, находящегося вне здания, формулы для пробит-функции имеют вид

$$Pr = 5,0 - 5,74 \ln S; \quad (\text{Пб.3})$$

$$S = \frac{4,2}{\bar{P}} + \frac{1,3}{\bar{i}}; \quad (\text{Пб.4})$$

$$\bar{P} = \frac{\Delta P}{P_0}; \quad (\text{Пб.5})$$

$$\bar{i} = \frac{I^+}{P_0^{1/2} m^{1/3}}, \quad (\text{Пб.6})$$

где  $m$  – масса тела человека (допускается принимать равной 70 кг), кг;  $\Delta P$  – избыточное давление волны давления, Па;  $I^+$  – импульс волны давления, Па · с;  $P_0$  – атмосферное давление, Па.

Пробит-функции для разрушения зданий имеют вид:

- для тяжелых разрушений

$$Pr = 5,0 - 0,26 \ln V; \quad (\text{Пб.7})$$

$$V = \left(\frac{17\,500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3}; \quad (\text{Пб.8})$$

- для полного разрушения

$$Pr = 5,0 - 0,22 \ln V; \quad (\text{Пб.9})$$

$$V = \left(\frac{40\,000}{\Delta P}\right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I^+}\right)^{11,3}. \quad (\text{Пб.10})$$

При оценке условной вероятности поражения человека формулы (Пб.3)–(Пб.6) могут применяться только в отношении участков территории производственного объекта, на которых отсутствуют какие-либо здания и сооружения. Для

оценки условной вероятности поражения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, а также на участках территории производственных объектов, характеризующихся наличием зданий и сооружений, должны применяться формулы (Пб.7), (Пб.8)

При оценке условной вероятности поражения человека, находящегося в здании, следует также использовать пробит-функцию, определяемую по формулам (Пб.7), (Пб.8).

## **II. Критерии поражения тепловым излучением**

При анализе воздействия теплового излучения следует различать случаи импульсного и длительного воздействия. В первом случае критерием поражения является доза излучения  $D$  (например, воздействие огненного шара), во втором – критическая интенсивность теплового излучения  $q_{CR}$  (например, воздействие пожара пролива).

Величины  $q_{CR}$  для воспламенения некоторых горючих материалов приведены в табл. Пб.3, для различных степеней поражения человека – в табл. Пб.4.

*Таблица Пб.3*

### **Величина интенсивности теплового излучения некоторых горючих материалов**

Материалы	$q_{CR}$ , кВт/м <sup>2</sup>
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью 417 кг/м <sup>3</sup> )	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Картон серый	10,8
Декоративный бумажно-слоистый пластик	19,0–24,0
Металлопласт	24,0–27,0
Плита древесно-волокнистая	13,0

Материалы	$q_{CR}$ , кВт/м <sup>2</sup>
Плита древесно-стружечная	12,0
Плита древесно-стружечная с отделкой «Полиплен»	12,0
Плита древесно-волоконистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева	12,0–16,0
Кожа искусственная	17,9–20,0
Стеклопластик на полиэфирной основе	14,0
Лакокрасочные покрытия	25,0
Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе	12,0
Линолеум ПВХ	10,0–12,0
Линолеум алкидный	10,0
Линолеум ПВХ на тканевой основе	6,0–12,0
Покрытие ковровое	4,0–6,0
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0
Легковоспламеняющиеся, горючие и трудногорючие жидкости при температуре самовоспламенения, °С:	
300	12,1
350	15,5
400	19,9
500 и выше	28,0 и выше

Таблица Пб.4

**Величина интенсивности теплового излучения  
для различных степеней поражения человека**

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт/м <sup>2</sup>
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20–30 с Ожог 1 степени через 15–20 с Ожог 2 степени через 30–40 с	7,0
Непереносимая боль через 3–5 с Ожог 1 степени через 6–8 с Ожог 2 степени через 12–16 с	10,5

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается формулой

$$Pr = -12,8 + 2,56 \ln(t \cdot q^{4/3}), \quad (\text{Пб.11})$$

где  $t$  – эффективное время экспозиции, с;  $q$  – интенсивность теплового излучения, кВт/м<sup>2</sup>.

Величина эффективного времени экспозиции  $t$  определяется по формулам:

- для огненного шара

$$t = 0,92 m^{0,303}; \quad (\text{П6.12})$$

- для пожара пролива

$$t = t_0 + \frac{x}{u}, \quad (\text{П6.13})$$

где  $m$  – масса горючего вещества, участвующего в образовании огненного шара, кг;  $t_0$  – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (может быть принято равным 5);  $x$  – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м<sup>2</sup>);  $u$  – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с (принимается равной 5 м/с).

Для наружных установок, включающих в свой состав этажерки, открытые галереи, эстакады с проходами и площадками обслуживания оборудования, длина пути от места расположения человека до безопасной зоны определяется на основе объемно-планировочных решений наружной установки и предусмотренных на ней путей эвакуации. При этом длину пути следует определять как расстояние от наиболее удаленной точки рассматриваемой наружной установки до специально предусмотренной на наружной установке безопасной зоны (например, лестницы, защищенной огнезащитными экранами) или зоны на установке или вне ее пределов, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м<sup>2</sup>. Длина наклонных участков пути принимается по их проектному значению. Пандусы, если их наклон менее 1:8, допускаются относить к горизонтальным путям.

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива или факела, принимается равной 1.

Для пожара-вспышки следует принимать, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

**Метод определения вероятностей  
эффективного срабатывания технических средств  
противопожарной защиты при определении  
потенциального риска в зданиях объекта**

Вероятности эффективного срабатывания технических средств противопожарной защиты, используемые для определения вероятности  $D_{ij}$  эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности  $i$ -го помещения при реализации  $j$ -го сценария пожара в соответствии с п. 2.6.13 настоящего Пособия, допускается определять в соответствии с методом, изложенным ниже.

Значение вероятности эффективного срабатывания автоматических установок пожаротушения допускается принимать равным  $D_{ij} = 0,9$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой автоматической установки пожаротушения, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- оборудование здания системой автоматического пожаротушения не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности, но здание оборудовано указанной системой, она отвечает требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях значение вероятности эффективного срабатывания автоматических установок пожаротушения принимается равным нулю.

Значение вероятности эффективного срабатывания автоматических установок пожарной сигнализации допускается принимать равным  $D_{ij} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- оборудование здания системой пожарной сигнализации не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности, но здание оборудовано указанной системой, она отвечает требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях значение вероятности эффективного срабатывания автоматических установок пожарной сигнализации принимается равным нулю.

Значение вероятности эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей допускается принимать равным  $D_{ij} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- оборудование здания системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности, но здание оборудовано указанной системой, она отвечает требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях значение вероятности эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей принимается равным нулю.

Значение вероятности эффективного срабатывания системы противодымной защиты допускается принимать равным  $D_{ij} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой противодымной защиты, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- оборудование здания системой противодымной защиты не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности, но здание оборудо-

вано указанной системой, она отвечает требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях значение вероятности эффективного срабатывания системы противоподымной защиты принимается равным нулю.

Также для определения вероятности  $D_{ij}$  эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности  $i$ -го помещения при реализации  $j$ -го сценария пожара допускается использовать данные по вероятностям эффективного срабатывания технических средств противопожарной защиты, представленные в табл. П7.1.

*Таблица П7.1*

***Данные по вероятностям эффективного срабатывания технических средств противопожарной защиты***

Техническое средство противопожарной защиты	Вероятность эффективного срабатывания
Технические средства противопожарной защиты при соблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации: <ul style="list-style-type: none"> <li>- автоматические установки пожарной сигнализации;</li> <li>- спринклерные автоматические установки пожаротушения;</li> <li>- иные автоматические установки пожаротушения;</li> <li>- системы противоподымной защиты</li> <li>- противопожарные двери, ворота, клапаны</li> </ul>	0,6  0,8 0,9 0,9 0,7
Технические средства противопожарной защиты при несоблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации, а также в случае отсутствия данных предприятия-поставщика	0

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № 404: зарегистрировано в минюсте России 17.08.2009 г. № 14541 (в ред. приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 31 марта 2009 г. № 272. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 4 июля 2008 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г. (в ред. Федер. закона от 29 июля 2017 г. № 244-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. СП 12.13130.2009\*. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

5. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 июня 1997 г. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 фев. 2008 г. № 87. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.. В 2 кн. / *А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук* [и др.]. М.: Химия, 1990.

8. *Монахов В.Т.* Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и жидкости. М.: ВНИИПО, 2007. 248 с.

9. Пособие по применению СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» / *И.М. Смолин* [и др.]. М.: ВНИИПО, 2014. 147 с.

10. *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: уч. пособие. М: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

11. Расчет необходимого времени эвакуации людей из помещений при пожаре. Рекомендации. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. 22 с.

12. Failure Rate and Event Data for use within Land Use Planning Risk Assessment. Health and Safety Executive, UK.

13. 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 (перевод ООО «СИТИС», 2010 г.).

14. ГОСТ Р 51901.13–2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей.

15. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: утв. приказом МЧС России от 30 июля 2006 г. № 382 (в ред. приказа МЧС России от 12 дек. 2011 г. № 749). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

16. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.

17. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.

18. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа: рекомендации. М.: ВНИИПО, 2004. 96 с.

19. Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: пособие / *А.А. Абашкин* [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. М.: ВНИИПО, 2014. 226 с.

20. *Карькин И.Н.* Работа в программном комплексе FireCat. Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim. Редакция 3. 2014. 27 с.

21. СИТИС 2-09. Методические рекомендации по использованию программы CFAST. Редакция 5. 2009. 64 с.

Производственно-практическое издание

**ПОСОБИЕ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ  
ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ**

2-е издание, исправленное и дополненное

*Редактор А.А. Авдеева  
Технический редактор М.Г. Завидская  
Ответственный за выпуск П.Л. Леончук*

---

Подписано в печать 24.06.2019 г. Формат 60×84/16. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 20,00. Тираж 300 экз. Заказ № 38

---

*Типография ФГБУ ВНИИПО МЧС России  
мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха,  
Московская область, 143903*