

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

(первая редакция)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к первой редакции проекта «Пособия по определению расчетных
величин пожарного риска для производственных объектов»

Пожарный риск является одним из ключевых понятий Федерального закона от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее ФЗ №123-ФЗ).

Согласно п. 7 статьи 6 ФЗ №123-ФЗ порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска определяется нормативными правовыми актами Российской Федерации. В настоящее время порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска определяется постановлением Правительства РФ от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска», которым утверждены «Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска».

Согласно п. 5 указанных Правил определение расчетных величин пожарного риска проводится по методикам, утверждаемым МЧС России.

В соответствии с указанным постановлением Правительства Российской Федерации в 2009 г. в отношении производственных объектов была разработана и утверждена «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (утв. приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. №404, зарегистрировано в Минюсте от 17 августа 2009 г. №14541).

Опыт применения указанной методики, обращения организаций и отдельных граждан показал на необходимость разработки методического документа (пособия), содержащего подробные разъяснения по практическому применению методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.

В связи с вышеизложенным в рамках выполнения научно-исследовательской работы (далее - НИР) и была разработана первая редакция проекта «Пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов» (далее - Пособие).

В проекте пособия рассматриваются расчетные методы, используемые при проведении расчетов по оценке пожарного риска на производственных объектах. Кроме того, в проекте пособия приведены сведения о пожаровзрывоопасных и физико-химических свойствах наиболее распространенных и широко применяемых горючих веществ и материалов, а также сведения о частотах реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий и частоты возникновения пожаров.

Последовательность и порядок проведения расчетов, определение исходных данных для расчета отражены в типовых примерах расчетов величин пожарного риска для конкретных производственных объектов и их частей.

При разработке проекта пособия учитывались положения «Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», а также других нормативных правовых и методических документов в области обеспечения пожарной безопасности.

При разработке проекта пособия также учитывались результаты ранее проведенных исследований, существующие методические документы по оценке пожарной опасности производственных объектов, данные отечественных и зарубежных источников информации (включая международные нормативные документы) по проблемам оценки пожарного риска.

После обработки поступивших отзывов планируется разработка окончательной редакции пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов.

Работа выполняется в соответствии с положениями Единого тематического плана НИОКР МЧС России на 2008-2010 г.г. (п. 1.1.3.259) и технического задания на научно-исследовательскую работу (НИР) «Разработка пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов».

Исполнителем НИР и разработчиком документа является Федеральное Государственное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России.

Адрес: мкр.. ВНИИПО, д.12, г. Балашиха, Московская обл., 143903;

контактные телефоны: (495) 524-81-71 (Д.М. Гордиенко),

факс (495) 529-80-36.

E-mail: vniipo@mail.ru

Руководитель темы:

Заместитель начальника отдела

Д. М. Гордиенко

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, объектов, расположенных в лесах, линейной части магистральных трубопроводов.

Положения методики [1] и настоящего Пособия не могут быть применены для объектов, запроектированных и построенных до вступления в силу Федерального закона [3], за исключением случаев, указанных в части 4 статьи 4 указанного закона.

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.

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 селитебной зоне 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 закона [3] установлены следующие нормативные значения пожарного риска для производственных объектов.

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

- 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⁻¹). 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 селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год (т.е. 10^{-8} год⁻¹).

- Величина социального пожарного риска воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну десятимиллионную в год (т.е. 10^{-7} год⁻¹).

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

- опасные производственные объекты в соответствии с Федеральным законом [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.

1.5. 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 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].

1.6. Согласно методике [1] (далее по тексту - 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, сооружений и строений.

Ниже на основе положений Методики 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 Приложении 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 сливоналивных 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 столкновения 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 вспомогательном технологическом оборудовании. Кроме этого, учитывается также возможность возникновения пожара в зданиях, сооружениях и строениях (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 может не представляться возможным. В тоже время проведение расчетов по оценке пожарного риска предполагает рассмотрение как можно более широкого перечня пожароопасных аварийных ситуаций, учитывающего 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, должен охватывать все технологические блоки, участки, технологические установки, здания, строения и сооружения 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, строению 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 направлена 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, однако 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 селитебной зоне. 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 пожароопасных ситуаций событий для некоторых типов оборудования объектов, частотам утечек из технологических трубопроводов, а также частотам возникновения пожаров в зданиях приведены в Приложении 2 к настоящему Пособию (по данным [1, 12, 13]).

При использовании данных, приведенных в приложении 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:

- 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:

- 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 приемов количественных или качественных, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события, а также их вероятностей и частот.

Применение метода логических деревьев событий 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 являются условными вероятностями. Метод логических деревьев событий 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 поэтапно 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 пожароопасные 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 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 противоаварийной 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 Приложении 3 к настоящему Пособию.

2.3.3. Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, представленных в приложениях 4 и 5 к настоящему Пособию, являющихся развитием 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:

- методы расчета теплового излучения пожара пролива и огненного шара;
- методы 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;
- методы оценки зон поражения при пожаре вспышке и факельном горении;

- методы определения времени блокирования эвакуационных путей в результате распространения опасных факторов пожара (для зальных помещений).

Кроме того, в 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 разделе 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 развития 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 Приложении 6 к настоящему Пособию.

Примеры расчетов с использованием этих критериев приведены в разделе 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 по вероятности эффективного срабатывания некоторых систем противопожарной защиты приведены в Приложении 3 к настоящему Пособию.

2.6. Вычисление величин пожарного риска на объекте

2.6.1. В соответствии с Методикой расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков в зданиях и на территории объекта, а также в селитебной

зоне вблизи объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска.

Примеры расчетов величин пожарного риска для производственного здания, наружной установки и производственного объекта приведены в разделе 3 настоящего Пособия.

2.6.2. Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год⁻¹) (далее – потенциальный риск) в определенной точке (a) на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле

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

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 иницилирующему аварии событию; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются критериями поражения людей опасными факторами пожара, взрыва (например, значениями пробит-функций).

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 иницилирующему 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 аварии, приводящих к гибели людей, заключена в определенных, указанных на рисунке, пределах.

Контуров 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, 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

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

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

Потенциальный риск в зданиях объекта

2.6.5. Величина потенциального риска P_i (год⁻¹) в i -м помещении здания объекта определяется по формуле

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

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

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

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

где $P_{эij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -м помещении здания, при реализации j -го сценария пожара; D_{ij} – вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i -м помещении при реализации j -го сценария пожара.

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

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

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

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

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 -м 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 $P_{э.nij}$ определяется по формуле

$$P_{э.nij} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_{rij} < 0,8 \cdot \tau_{бlij} \\ 0,001, & \text{если } t_{rij} \geq 0,8 \cdot \tau_{бlij} \end{cases} \quad (7)$$

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 приложении № 5 к настоящему пособию.

Расчетное время эвакуации t_{rij} 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 $\tau_{бlij}$ и t_{rij} 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 -м сценарии пожара для i -го помещения здания.

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 -м 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

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

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.

2.6.16. Величина индивидуального риска R_m (год⁻¹) для работника m объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле

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

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

2.6.17. Величина индивидуального риска R_m (год⁻¹) для работника m при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле

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

где P_i – величина потенциального риска в i -м помещении здания, год^{-1} ; q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -м помещении; N – число помещений в здании, сооружении и строении.

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 -м помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта.

Индивидуальный и социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта

2.6.20. Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне, определенным по формуле (1).

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

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, социальный риск S (год^{-1}) определяется по формуле

$$S = \sum_{j=1}^L Q_j, \quad (11)$$

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

2.6.22. Величина N_i определяется по формуле

$$N_i = \sum_{j=1}^I Q_{dij} \cdot n_i, \quad (12)$$

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

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 $S = 44 \text{ м}^2$;
- коридор;
- тамбур.

Планы рассматриваемого здания представлен на рис. 3.1.1.

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.

Исходя из положений п. 33 методики [1] для определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара допускается дополнительно использовать методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных в установленном порядке. Расчет распространения опасных факторов пожара производится с помощью зонной модели пожара в здании в соответствии с [15].

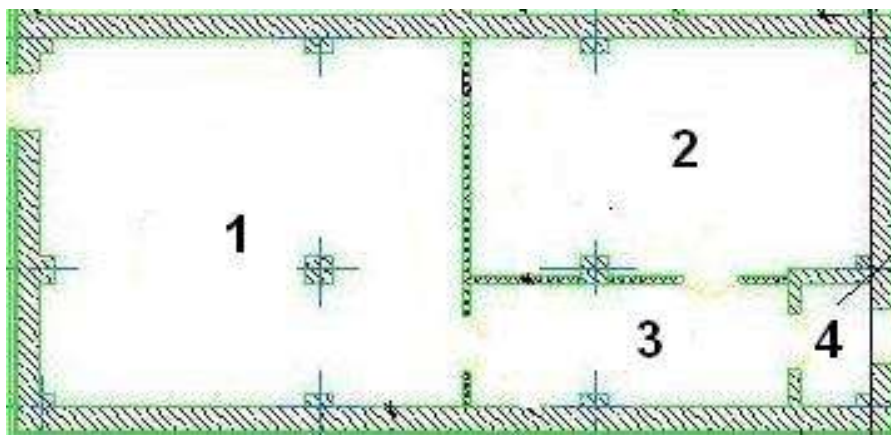


Рис. 3.1.1. План рассматриваемого здания

- 1 – помещение контроллерной;
2 – помещение электрооборудования;
3 – коридор; 4 – тамбур.*

3.1.1. Результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании

Сценарий №1. Очаг пожара возникает в помещении контроллерной (поз. 1). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электротехнические материалы, трансформаторное масло), очаг пожара развивается по площади и мощности. 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. П2.3 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:

– низшая теплота сгорания	20,9 МДж/кг
– линейная скорость пламени	0,0125 м/с
– удельная скорость выгорания	0,0076 кг/м ² ·с
– дымообразующая способность	327 Нп·м ² /кг
– потребление кислорода O ₂	-1,95 кг/кг
– коэффициент полноты сгорания	0,95

Выделение газа:

– углекислого газа CO ₂	0,375 кг/кг
– угарного газа CO	0,0556 кг/кг
– хлористого водорода HCl	0,0054 кг/кг.

Ниже приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещениях рассматриваемого здания.

Таблица 3.1.1

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении контроллерной (поз. 1)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м.	1.7
Время блокирования	с.	104
По повышенной температуре	с.	Не достигается в течение 1800 с
По потере видимости	с.	104
По пониженному содержанию кислорода	с.	104
По X _{CO2}	с.	Не достигается в течение 1800 с
По X _{CO}	с.	189
По X _{HCl}	с.	301

Расчетное время эвакуации из помещения контроллерной (поз. 1) составляет $t_{rij} = 0,1 \text{ мин} = 6 \text{ с}$. Время от начала пожара до начала эвакуации людей $\tau_{н.эij}$ принимаем в соответствии как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет $P_{э.пij} = 0,999$, так как выполнено условие $t_{rij} + \tau_{н.эij} = 6 \text{ с} \leq 0,8 \cdot \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 104 = 83,2 \text{ с}$. 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 $P_{эij}$, равна согласно формуле (5) $P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) \cdot (1 - P_{д.виj}) = 0,999$. 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 составляет согласно формуле (4):

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

Таким образом, имеем вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении от данного сценария пожара в соответствии с формулой (3) Методики: $P_{ij} = Q_j \cdot Q_{dij} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot 0,001 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Таблица 3.1.2

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования (поз. 2)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м.	1.7
Время блокирования	с.	319
По повышенной температуре	с.	Не достигается в течение 1800 с
По потере видимости	с.	319
По пониженному содержанию кислорода	с.	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO_2}	с.	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO}	с.	986
По X_{HCl}	с.	1281

Расчетное время эвакуации из помещения электрооборудования (поз. 2) составляет $t_{rij} = 0,11 \text{ мин} = 6 \text{ с}$. Время от начала пожара до начала эвакуации людей $\tau_{н.эij}$ принимаем равным $0,5 \text{ мин} = 30 \text{ с}$. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет $P_{э.пij} = 0,999$, так как выполнено условие $t_{rij} + \tau_{н.эij} = 6 + 30 = 36 \text{ с} \leq 0,8 \cdot \tau_{бл.ij} = 0,8 \cdot 319 = 255 \text{ с}$. 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 $P_{эij}$, равна согласно формуле (5) $P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) \cdot (1 - P_{д.вij}) = 0,999$. 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) $Q_{dij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}) = 0,001$.

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 (поз. 2). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электротехнические материалы, карболит, текстолит), очаг пожара развивается по площади и мощности. 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. П2.3 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:

– низшая теплота сгорания	20,9 МДж/кг
– линейная скорость пламени	0,0125 м/с
– удельная скорость выгорания	0,00760 кг/м ² ·с
– дымообразующая способность	327 Нп·м ² /кг
– потребление кислорода O ₂	-1,95 кг/кг
– коэффициент полноты сгорания	0,95

Выделение газа:

– углекислого газа CO ₂	0,375 кг/кг
– угарного газа CO	0,0556 кг/кг
– хлористого водорода HCl	0,0054 кг/кг.

Ниже приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещениях рассматриваемого здания.

Таблица 3.1.3

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещениях контроллерной (поз. 1)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м.	1.7
Время блокирования	с.	347
По повышенной температуре	с.	Не достигается в течение 1800 с
По потере видимости	с.	347
По пониженному содержанию кислорода	с.	Не достигается в течение 1800 с
По X _{CO2}	с.	Не достигается в течение 1800 с
По X _{CO}	с.	964
По X _{HCl}	с.	1313

Расчетное время эвакуации из помещения контроллерной (поз. 1) составляет $t_{pij} = 0,1$ 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 $P_{э.пij} = 0,999$, так как выполнено условие $t_{pij} + \tau_{н.эij} = 6 + 30 = 36 \text{ с} \leq 0,8 \cdot \tau_{блij} = 0,8 \cdot 347 = 278 \text{ с}$. 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 $P_{эij}$, равна согласно формуле (5) $P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) \cdot (1 - P_{д.виj}) = 0,999$. 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 составляет согласно формуле (4) $Q_{dij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}) = 0,001$.

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

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

Таблица 3.1.4

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования (поз. 2)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м.	1.7
Время блокирования	с.	72
По повышенной температуре	с.	1008
По потере видимости	с.	72
По пониженному содержанию кислорода	с.	72
По X_{CO_2}	с.	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO}	с.	133
По X_{HCl}	с.	206

Расчетное время эвакуации из помещения электрооборудования (поз.2) составляет $t_{rij} = 0,11$ мин = 6 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 $t_{rij} + \tau_{н.эij} = 6 \text{ с} \leq 0,8 \cdot \tau_{бlij} = 0,8 \cdot 72 = 58 \text{ с}$. Принимаем вероятность выхода из здания людей, находящихся в рассматриваемом помещении $P_{д.виj}$, через аварийные выходы $P_{д.виj} = 0,03$. Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении $P_{эij}$, равна согласно формуле (5) $P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) \cdot (1 - P_{д.виj}) = 0,999$.

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 составляет согласно формуле (4):

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

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

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

Таблица 3.1.5

Результаты определения потенциального пожарного риска для здания контроллерной

№ сценария	Наименование помещения, позиция	Потенциальный пожарный риск по сценарию, год^{-1}	Итоговый потенциальный пожарный риск, год^{-1}
1	Помещение контроллерной (поз. 1)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$
2		$9,7 \cdot 10^{-7}$	
1	Помещение электрооборудования (поз. 2)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$
2		$9,7 \cdot 10^{-7}$	

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 сле-

дующих профессий, с указанием доли времени, которое они проводят в течение года в данном здании:

- оператор – 8 часов в рабочий день = 1600 ч/год = 0,18.

Ниже приведены результаты определения индивидуального пожарного риска для работников в рассматриваемом здании.

Таблица 3.1.6

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 ⁻¹	Итоговый индивидуальный риск, год ⁻¹
Контролер	Помещение контроллерной (поз. 101)	0,16	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
	Помещение электрооборудования (поз. 102)	0,02	$0,05 \cdot 10^{-6}$	

3.1.3. Вывод об условиях соответствия рассматриваемого здания требованиям пожарной безопасности

Индивидуальный пожарный риск не превышает нормативное значение, так как выполняется условие $R_m^{\max} = 4,5 \cdot 10^{-7} \leq R_m^{\text{н}} = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

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 2 резервуара (резервуары №1 и №2) объемом по 10000 м³ каждый (диаметр резервуара 34,2 м, высота – 11,92 м) и 2 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 м². 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 Приложении 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 – минус 37 °С; константы уравнения Антуана в диапазоне температур -60÷90 °С: $A = 4,26511$, $B = 695,019$, $CA = 223,220$; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) – 1,1 % (об.).

Статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций.

Данные по частотам реализации инициирующих 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 Приложением 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:

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

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 таблице ПЗ.1 Приложения 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 таблице ПЗ.1 настоящего Пособия. Также следует отметить, что в соответствии с положениями Приложения 3 настоящего Пособия для бензина (ЛВЖ с температурой вспышки менее +28°C) 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:

$$P_{\text{обр. избыт. давл.}} = 0,600.$$

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 Приложению 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 п. 6 Приложения 4 к настоящему Пособию расчетная температура принималась равной максимально возможной температуре в климатической зоне размещения объекта (г. Москва) $t_0 = +37^\circ\text{C}$ [16].

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

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 и 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 логических 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 инициирующих 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 инициирующих 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 неэф-

фактивной работы (невыполнения задачи) системой водяного орошения резервуара приводит к возникновению пожара резервуара по всей поверхности.

9. Воздействие на резервуары парка пожара-вспышки и взрыва паровоздушно-го 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:

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

P_2 – условная вероятность безветрия (штиля):

$$P_2 = P_{\text{штиля}}.$$

P_3 – условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения:

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

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

$$P_4 = P_{\text{обр. изб. давт.}}.$$

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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

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

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

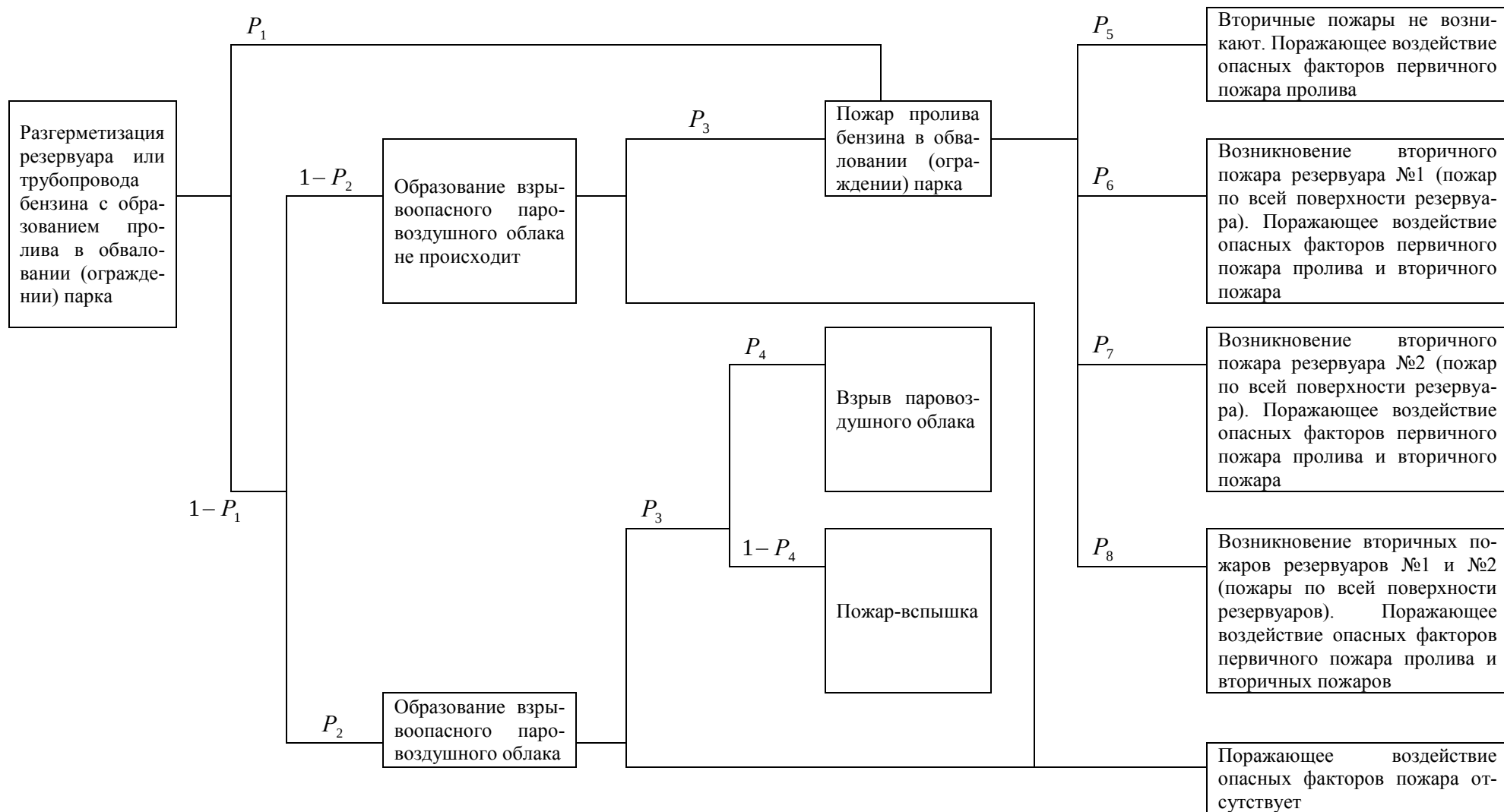


Рис. 3.2.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией резервуара или трубопровода рассматриваемого резервуарного парка

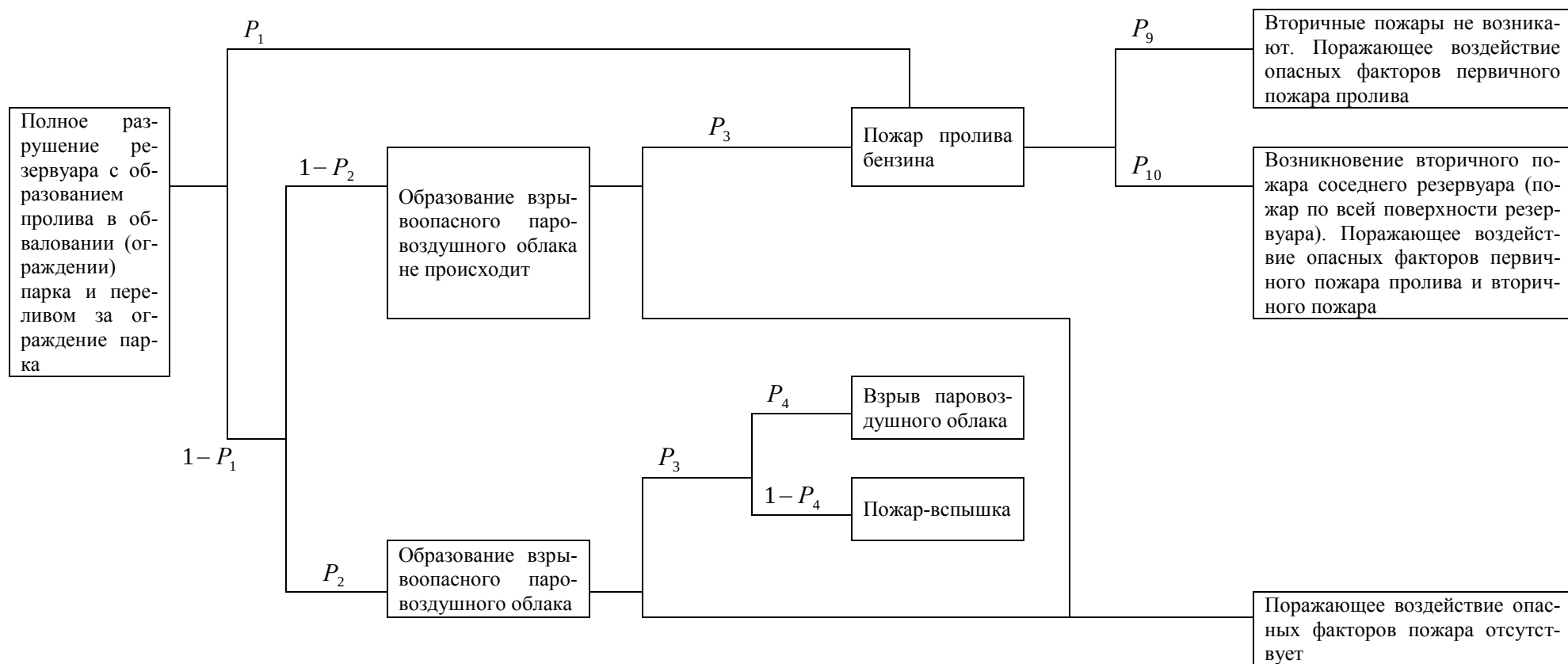


Рис. 3.2.2. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с полным разрушением одного из резервуаров рассматриваемого резервуарного парка

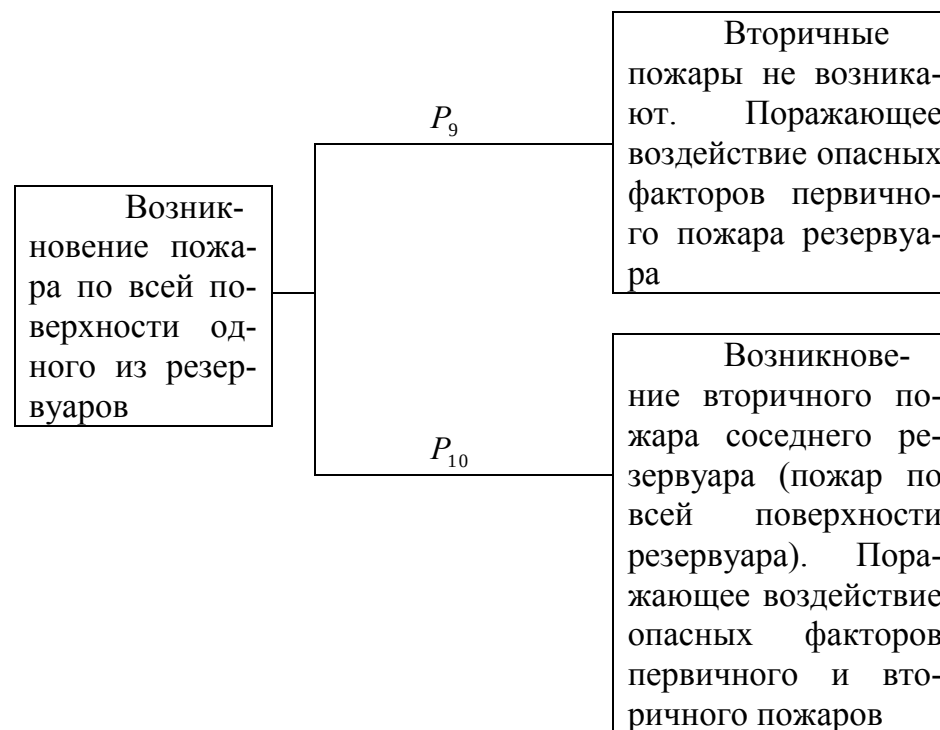


Рис. 3.2.3. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с возникновением пожара по всей поверхности одного из резервуаров рассматриваемого резервуарного парка

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
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина без возникновения вторичных пожаров	13
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	14
		Взрыв паровоздушного облака	15
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	16

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/ пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/ пожара	№ сценария
	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 (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	21
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	22
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара №2 по всей поверхности	23
		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
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100 мм	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
	Разгерметизация резервуара, характеризующаяся полным разрушением	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина без возникновения вторичных пожаров	33
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по	34

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/ пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/ пожара	№ сценария
		всей поверхности	
		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
		Пожар резервуара №2 по всей поверхности с возникновением вторичного пожара резервуара №1 по всей поверхности	38
	Возникновение пожара на дыхательной арматуре	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	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
		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	53

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/ пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/ пожара	№ сценария
	бопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 50 мм	пожаров	
		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
	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
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	64
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся разрывом по полному сечению (полным разрывом)	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:

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

Частота реализации сценария №2:

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

Частота реализации сценария №3:

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

Частота реализации сценария №4:

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

Частота реализации сценария №5:

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

Частота реализации сценария №6:

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

Частота реализации сценария №7:

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

Частота реализации сценария №8:

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

Частота реализации сценария №9:

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

Частота реализации сценария №10:

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

Частота реализации сценария №11:

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

Частота реализации сценария №12:

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

Частота реализации сценария №13:

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

Частота реализации сценария №14:

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

Частота реализации сценария №15:

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

Частота реализации сценария №16:

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

Частота реализации сценария №17:

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

Частота реализации сценария №18:

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

Частота реализации сценария №19:

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

Частота реализации сценария №20:

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

Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих на резервуаре №2 (21-40).

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:

$$\begin{aligned} Q_{41} &= Q_{\text{разгерм.труб.12.5мм}} \cdot L_{\text{труб.}} \times \\ &\times (P_{\text{мн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{ор.}} \cdot P_{\text{ор.}} = \\ &= 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0,150 + (1 - 0,150) \cdot (1 - 0,12) \cdot 0,176) \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Частота реализации сценария №42:

$$\begin{aligned} Q_{42} &= Q_{\text{разгерм.труб.12.5мм}} \cdot L_{\text{труб.}} \times \\ &\times (P_{\text{мн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) \cdot P_{\text{ор.}} = \\ &= 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0,150 + (1 - 0,150) \cdot (1 - 0,12) \cdot 0,176) \cdot (1 - 0,95) \cdot 0,95 = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Частота реализации сценария №43:

$$\begin{aligned} Q_{43} &= Q_{\text{разгерм.труб.12.5мм}} \cdot L_{\text{труб.}} \times \\ &\times (P_{\text{мн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{ор.}} \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) = \\ &= 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0,150 + (1 - 0,150) \cdot (1 - 0,12) \cdot 0,176) \cdot 0,95 \cdot (1 - 0,95) = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Частота реализации сценария №44:

$$\begin{aligned} Q_{44} &= Q_{\text{разгерм.труб.12.5мм}} \cdot L_{\text{труб.}} \times \\ &\times (P_{\text{мн.воспл.утеч.}} + (1 - P_{\text{мн.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{штиля}}) \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) \cdot (1 - P_{\text{ор.}}) = \\ &= 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0,15 + (1 - 0,15) \cdot (1 - 0,12) \cdot 0,176) \cdot (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,95) = 4,4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Частота реализации сценария №45:

$$Q_{45} = Q_{\text{разг.рм.труб.12.5мм}} \cdot L_{\text{труб.}} \cdot (1 - P_{\text{мн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{штиля}} \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \cdot P_{\text{обр.изб.давл.}} = 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (1 - 0,150) \cdot 0,12 \cdot 0,176 \cdot 0,600 = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария №46:

$$Q_{46} = Q_{\text{разгнрм.туб.12.5мм}} \cdot L_{\text{туб.}} \cdot (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч.}}) \cdot P_{\text{штиля}} \cdot P_{\text{посл.воспл.утеч.}} \cdot (1 - P_{\text{обр.изб.дав.}}) =$$

$$= 3,1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (1 - 0,150) \cdot 0,12 \cdot 0,176 \cdot (1 - 0,600) = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария №47:

$$Q_{47} = Q_{разг.тр.б.25.м.} \cdot L_{тр.б.} \times \\ \times (P_{м.в.п.у.ч.} + (1 - P_{м.в.п.у.ч.}) \cdot (1 - P_{ш.и.л.}) \cdot P_{п.в.п.у.ч.}) \cdot P_{ор.} \cdot P_{ор.} = \\ = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0,150 + (1 - 0,150) \cdot (1 - 0,12) \cdot 0,176) \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария №48:

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

Частота реализации сценария №49:

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

Частота реализации сценария №50:

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

Частота реализации сценария №51:

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

Частота реализации сценария №52:

$$Q_{52} = Q_{разг.тр.б.25\text{мм}} \cdot L_{тр.б.} \cdot (1 - P_{мн.восп.утеч.}) \cdot P_{штыля} \cdot P_{посл.восп.утеч.} \cdot (1 - P_{обр.изб.давт.}) = 1,3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (1 - 0,150) \cdot 0,12 \cdot 0,176 \cdot (1 - 0,600) = 1,9 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария №53:

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

Частота реализации сценария №54:

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

Частота реализации сценария №55:

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

Частота реализации сценария №56:

$$Q_{56} = Q_{разг\text{ерм.труб.}50\text{мм}} \cdot L_{труб.} \times$$

$$\times (P_{м\text{н.воспл.утеч.}} + (1 - P_{м\text{н.воспл.утеч.}}) \cdot (1 - P_{шт\text{иял.}}) \cdot P_{посл.воспл.утеч.}) \cdot (1 - P_{ор.}) \cdot (1 - P_{ор.}) =$$

$$= 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot (0,15 + (1-0,15) \cdot (1-0,12) \cdot 0,176) \cdot (1-0,95) \cdot (1-0,95) = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария №57:

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

Частота реализации сценария №58:

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

Частота реализации сценария №59:

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

Частота реализации сценария №60:

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

Частота реализации сценария №61:

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

Частота реализации сценария №62:

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

Частота реализации сценария №63:

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

Частота реализации сценария №64:

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

Частота реализации сценария №65:

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

Частота реализации сценария №66:

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

Частота реализации сценария №67:

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

Частота реализации сценария №68:

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

Частота реализации сценария №69:

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

Частота реализации сценария №70:

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

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

Оценка опасных факторов пожара производится с помощью методов, приведенных в Приложении к настоящему Пособию.

При этом согласно п.16 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 истечению всего содержимого в соответствующем резервуаре (питаемый разгерметизировавшимся трубопроводом резервуар или разгерметизировавшийся 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 м².

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 п.5 Приложения 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 ($V_{\text{рез.}} = 10000 \text{ м}^3$) к площади днища резервуара (диаметр резервуара: $D_{\text{рез.}} = 34,2$ м). Таким образом,

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

Значение параметра a/h_0 составляет 0,32.

Доля перелившегося через обвалование (ограждение) бензина определялась по рис. П4.3 Приложения 4 (кривая - 1) и была принята равной 38%. Таким образом, количество перелившегося через обвалование (ограждение) парка бензина составляет: $V_{бен.перелив.} = 10000 \cdot 0,38 = 3800 \text{ м}^3$.

Площадь пролива указанного выше количества бензина за пределами обвалования (ограждения) парка ($F_{ПРХ}$) рассчитывалась по формуле (П4.27) Приложения 4. Коэффициент разлития (f_p) принимался равным 20 м^{-1} .

$$F_{ПРХ} = f_p \cdot V_{бен.перелив.} = 20 \cdot 3800 = 76000 \text{ м}^2.$$

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

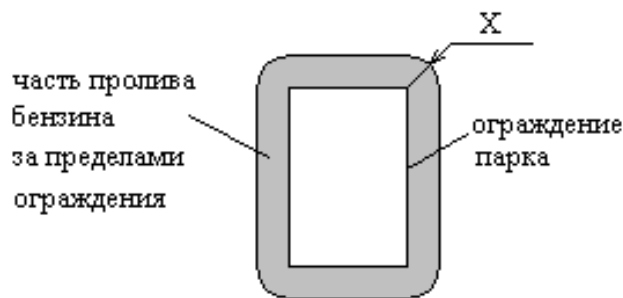


Рис. 3.2.4. Схема к определению формы пролива бензина за пределами обвалования ограждения парка

Ширина X , м, определяется уравнением:

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

Следовательно, ширина X составляет:

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

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 поверхности испарения принималась равной: $F_{R2} = F_{R1} + F_{ПРХ} = 7000 + 76000 = 83000 \text{ м}^2$.

4. Продолжительность испарения с поверхности пролива бензина для всех пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией резервуаров или трубопроводов парка, консервативно принималась: $T = 3600 \text{ с}$ (п.6 е) Приложения №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:

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

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

Согласно п.26 Приложения 4 интенсивность испарения бензина определяется по формуле:

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

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):

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

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

$$M_2 = F_{R2} \cdot W \cdot T = 83000 \cdot 3,84 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 = 114700 \text{ кг.}$$

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 разделе VI Приложения 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) F_1 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 $F_2 = 83000 \text{ м}^2$.

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

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

Результатом расчета интенсивности теплового излучения пожара для соот-

ветствующего 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 разделом VI Приложения 4, ниже приведен расчет интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина площадью F_3 (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной на расстоянии $r' = 20$ м от границы очага пожара.

Эффективный диаметр пролива рассчитывается в соответствии с формулой (П4.60) Приложения 4:

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

Удельная массовая скорость выгорания бензина согласно таблице П4.4 Приложения 4 принималась равной: $m' = 0,06$ кг/(м²·с).

Плотность окружающего воздуха при расчетной температуре $\rho_a = 1,15$ кг/м³, ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с².

Высота пламени определяется по формуле (П4.61) Приложения 4:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left[\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right]^{0.61} = 42 \cdot 34,2 \cdot \left[\frac{0,06}{1,15 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 34,2}} \right]^{0.61} = 40,2 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

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

Параметры h , S , B , A , определяющиеся соответственно формулами (П4.59), (П4.58), (П4.57), (П4.56) Приложения 4 составляют:

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 40,2}{34,2} = 2,35;$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} = \frac{2 \cdot 37,1}{34,2} = 2,17;$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} = \frac{1 + 2,17^2}{2 \cdot 2,17} = 1,32;$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} = \frac{2,35^2 + 2,17^2 + 1}{2 \cdot 2,17} = 2,59.$$

Значение фактора облученности для вертикальной площадки (F_v), определяемое формулой (П4.54) Приложения 4, составляет:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} \right] =$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2,17} \cdot \arctg \left(\frac{2,35}{\sqrt{2,17^2 - 1}} \right) - \frac{2,35}{2,17} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{2,17-1}{2,17+1}} \right) - \frac{2,59}{\sqrt{2,59^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,59+1) \cdot (2,17-1)}{(2,59-1) \cdot (2,17+1)}} \right) \right\} \right] = 0,218.$$

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

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] =$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(1,32-1/2,17)}{\sqrt{1,32^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(1,32+1) \cdot (2,17-1)}{(1,32-1) \cdot (2,17+1)}} \right) - \frac{(2,59-1/2,17)}{\sqrt{2,59^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,59+1) \cdot (2,17-1)}{(2,59-1) \cdot (2,17+1)}} \right) \right] = 0,116.$$

Угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле (П4.53)

Приложения 4:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,218^2 + 0,116^2} = 0,247.$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ определяется по формуле (П4.62)

Приложения 4:

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

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени E_f принимается в соответствии с таблицей П4.4 Приложения 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 м и 40 м и составляет: $E_f = 32,06 \text{ кВт/м}^2$.

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:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 32,06 \cdot 0,247 \cdot 0,986 = 7,8 \text{ кВт/м}^2.$$

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 очага пожара. Графики указанных зависимостей приведены на рис. 3.2.5.

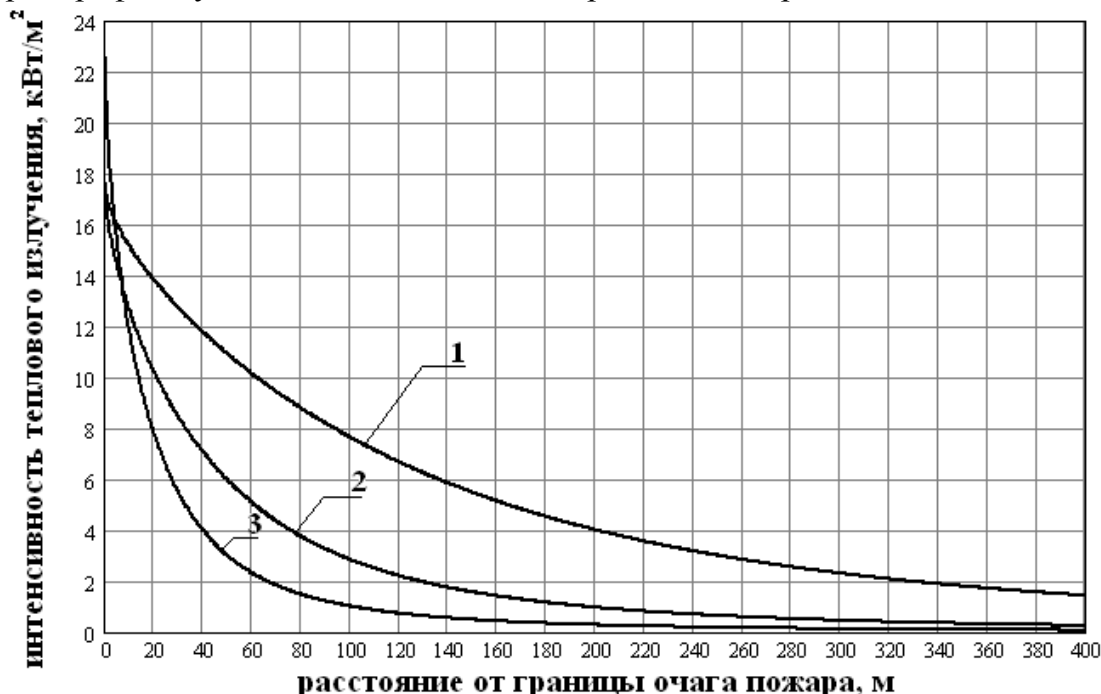


Рис. 3.2.5. Зависимости интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина от расстояния до очага пожара, при площади очага:

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 разделом III Приложения 4.

Плотность паров бензина ρ_{Π} при расчетной температуре определялась по формуле (П4.29) Приложения 4 и составляет:

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

Горизонтальный размер взрывоопасной зоны, отсчитываемый от границы пролива, рассчитывался по формуле (П3.34) и составляет:

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

$$\begin{aligned} R1_{\text{НКПР}} &= 3,2 \cdot \left(\frac{T}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{M_1}{\rho_{\Pi} \cdot P_H} \right)^{0,33} = \\ &= 3,2 \cdot \left(\frac{3600}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{39,3}{1,1} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{9677}{3,744 \cdot 39,3} \right)^{0,33} = 222 \text{ м}; \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R2_{\text{НКПР}} &= 3,2 \cdot \left(\frac{T}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{M_2}{\rho_{\Pi} \cdot P_H} \right)^{0,33} = \\ &= 3,2 \cdot \left(\frac{3600}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{39,3}{1,1} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{114700}{3,744 \cdot 39,3} \right)^{0,33} = 503 \text{ м}. \end{aligned}$$

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 разделом IV Приложения 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 соответствии с разделом IV Приложения 4, ниже приведен расчет избыточного давления и импульса волны давления при сго-

рании 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 таблицей П4.1 Приложения 4 относится к классу 3. Характер загроможденности окружающего пространства для резервуарного парка в соответствии с п.15 Приложения 4 соответствует классу III. Таким образом, согласно таблице П4.3 Приложения 4 ожидаемый режим сгорания паровоздушного облака – дефлаграция, скорость фронта пламени 150-200 м/с.

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

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

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 м×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 β в соответствии с таблицей П4.2 Приложения 4 для бензина равен $\beta = 1$. Удельное энерговыделение $E_{уд}$, определяемое в соответствии с п.14 Приложения 4, составляет:

$$E_{уд} = \beta \cdot E_{уд0} = 1 \cdot 44 = 44 \text{ МДж/кг.}$$

Величина энергозапаса E определялась по формуле (П4.36) Приложения 4 с учетом удвоения энергозапаса в соответствии с п. 11 Приложения 4 в связи с характером расположения облака. При этом консервативно принималось, что во взрыве участвует вся масса горючего вещества, содержащегося в облаке.

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

Атмосферное давление $P_0 = 101300$ Па.

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

$$R_x = R / (E / P_0)^{1/3} = 231 / (8,516 \cdot 10^{11} / 101300)^{1/3} = 1,136.$$

Степень расширения продуктов сгорания для паровоздушной смеси в соответствии с п. 20 Приложения 4 принималась равной $\sigma = 7$.

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

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

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

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

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

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

$$I_{x1} = W \cdot \left[1 - 0,4 \cdot W \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) \right] =$$

$$= 0,504 \cdot \left[1 - 0,4 \cdot 0,504 \cdot \left(\frac{0,06}{1,136} + \frac{0,01}{1,136^2} - \frac{0,0025}{1,136^3} \right) \right] = 0,024.$$

Величина избыточного давления ΔP рассчитывается по формуле (П4.42) Приложения 4 и составляет:

$$\Delta P = P_{x1} \cdot P_0 = 0,185 \cdot 101300 = 1,87 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

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

$$I^+ = I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0 = 0,024 \cdot 101300^{2/3} \cdot 8,516 \cdot 10^{11} / 340 = 1435 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

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 $M_1 = 9677 \text{ кг}$), приведен на рис. 3.2.6.

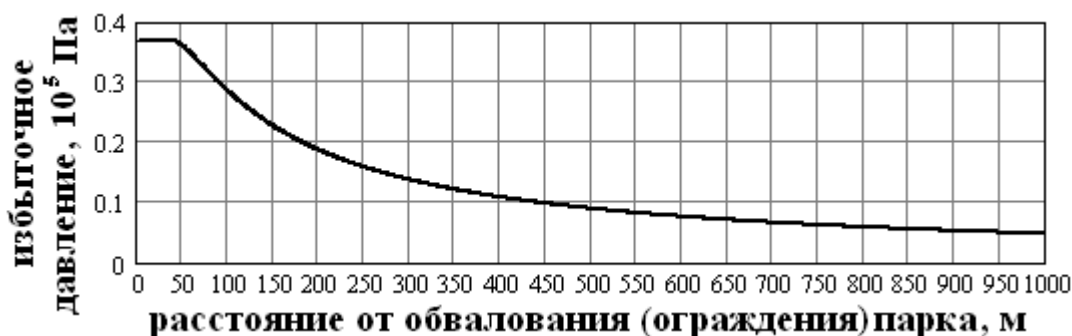


Рис. 3.2.6. Зависимость избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 9677 кг)

График зависимости избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка (масса паров $M_2 = 114700 \text{ кг}$), приведен на рис. 3.2.7.

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 $M_1 = 9677 \text{ кг}$), приведен на рис. 3.2.8.

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 $M_2 = 114700$ кг), приведен на рис. 3.2.9.

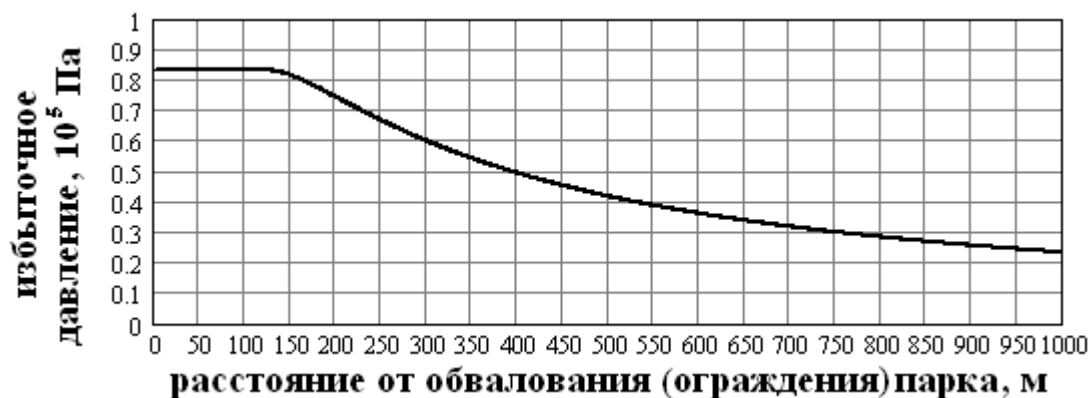


Рис. 3.2.7. Зависимость избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 114700 кг)

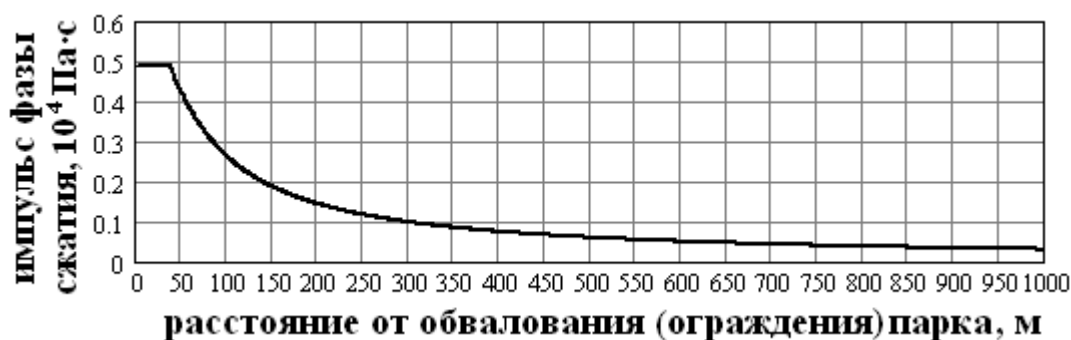


Рис. 3.2.8. Зависимость импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 9677 кг)

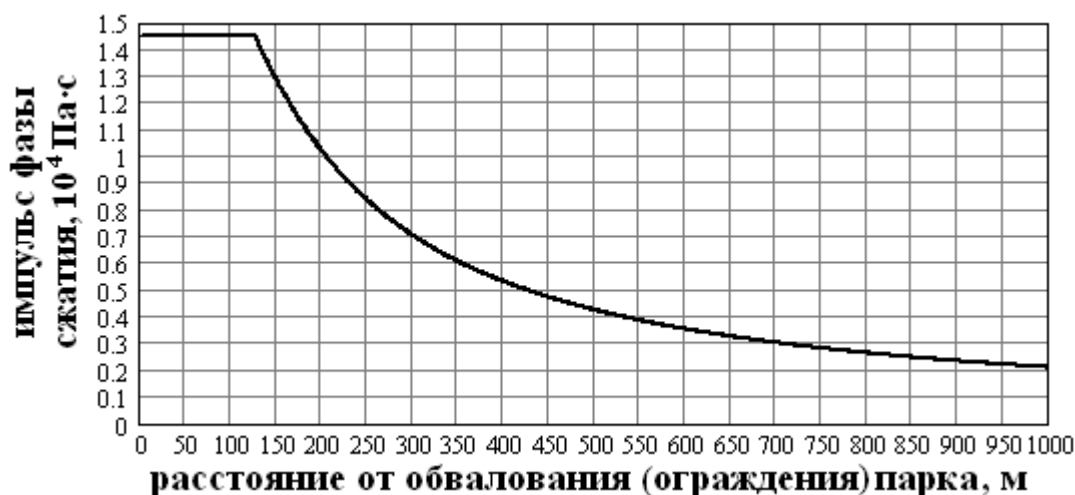


Рис. 3.2.9. Зависимость импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 114700 кг)

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

теплого 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) $F_1 = 7000 \text{ м}^2$.

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) $F_2 = 83000 \text{ м}^2$.

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, $R1_{\text{НКПР}} = 222 \text{ м}$ – 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, $R2_{\text{НКПР}} = 503 \text{ м}$ – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83000 \text{ м}^2$) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка.

6. Зависимости $\Delta P_1(r)$ и $I_1^+(r)$ (рис. 3.2.6 и 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 $\Delta P_2(r)$ и $I_2^+(r)$ (рис. 3.2.7 и 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 $F_{R2} = F_2 = 83000 \text{ м}^2$) 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_{dl} – 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_{dl} – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. таблицу 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:

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

2. Q_{dII} – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина в результате полного разрушения резервуара как без возникновения вторичных пожаров, так и с возникновением вторичных пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива) $F_2 = 83000 \text{ м}^2$.

Таким образом, Q_{dII} – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. таблицу 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, связанных 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. таблицу 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, связанных 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. таблицу 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, связанных 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. таблицу 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, связанных со сгоранием в режиме пожара-вспышки паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83000 \text{ м}^2$) 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. таблицу 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_{dVII} – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанных 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_{dVII} – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. таблицу 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_{dVIII} – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанных со взрывом паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83000 \text{ м}^2$) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка.

Таким образом, Q_{dVIII} – условная вероятность поражения человека при реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (см. таблицу 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 Приложении 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 разделом II Приложения 6 в зоне непосредственного воздействия пламени пожаров (в пределах очага пожара), соответствующих этим условным вероятностям поражения, принимались равными 1.

Таким образом, для 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_{dII}) 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_{dIII} или Q_{dIV}) в пределах площади, занимаемой резервуаром, на котором реализуется пожар, принималась равной 1.

Условные вероятности поражения человека Q_{dl} , Q_{dII} , Q_{dIII} , Q_{dIV} за пределами соответствующих им очагов пожаров определялись с использованием пробит-функции (формула (П6.11) Приложения 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 Приложением 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 $q = 7,8$ кВт/м².

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения рассматриваемого пожара равна 4 кВт/м², составляет $x = 19,9$ м.

Величина эффективного времени экспозиции t , определяемого по формуле (П6.13) Приложения 6, составляет:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} = 5 + \frac{19,9}{5} = 8,98 \text{ с.}$$

Значение пробит функции Pr , определяемое по формуле (П6.11) Приложения 6, составляет:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln [4 \cdot q^{4/3}] = -12,8 + 2,56 \cdot \ln [4,98 \cdot 7,8^{4/3}] = -0,17.$$

Значение условной вероятности поражения в зависимости от значения пробит-функции определяется по формуле (П6.2) Приложения 6:

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

Приведенная выше формула справедлива при положительных значениях пробит-функции. Значения пробит-функции меньше или равные нулю соответствуют условной вероятности поражения, равной нулю.

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

Аналогичным образом были получены значения условных вероятностей поражения Q_{dl} , Q_{dII} , Q_{dIII} , Q_{dIV} на различных расстояниях от границ соответствующих очагов пожара. Графики полученных зависимостей условных вероятностей Q_{dl} ,

Q_{dII} от расстояния до границ очагов соответствующих указанным вероятностям пожаров приведены на рис. 3.2.10.



Рис. 3.2.10. Зависимости условных вероятностей поражения человека тепловым излучением от расстояния до очага пожара
 Q_{dIII} - кривая 1, Q_{dI} - кривая 2

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 0,275. При этом на расстоянии 20 м от границы очага пожара условные вероятности Q_{dIII} или Q_{dIV} равны 0.

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:

$Q_{dIII} = Q_{dIV} = 0,275$ в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной $20 - 13,9 = 6,1$ м;

$Q_{dIII} = Q_{dIV} = 0$ на расстояниях от обвалования (ограждения) парка более 6,1 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) Приложения 4, для случая сгорания паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с по-

верхности (площадь поверхности испарения $F_{R1} = F_1 = 7000 \text{ м}^2$) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка, составляет:

$$R_{F1} = 1,2 \cdot R1_{HKPP} = 1,2 \cdot 222,6 = 267 \text{ м.}$$

Радиус воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки, определяемый по формуле (П4.67) Приложения 4, для случая сгорания паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83000 \text{ м}^2$) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, составляет:

$$R_{F2} = 1,2 \cdot R2_{HKPP} = 1,2 \cdot 503,3 = 604 \text{ м.}$$

В соответствии с Приложением 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.

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

Условные вероятности поражения человека волной давления Q_{dVII} , Q_{dVIII} для сценариев, связанных со взрывом паровоздушного облака, консервативно определялись с использованием пробит-функции (формулы (П6.7) и (П6.8) Приложения 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 Приложением 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) Приложения 6, составляет:

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{1,87 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1435} \right)^{9,3} = 0,573.$$

Значение пробит функции P_g , определяемое по формуле (П6.7) Приложе-

ния 6, составляет:

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

Согласно таблице П4.2 Приложения 6 полученному значению пробит-функции соответствует значение условной вероятности поражения 56%. Таким образом, для рассматриваемого случая условная вероятность поражения человека волной давления равна $Q_d = 0,56$.

Аналогичным образом были получены значения условных вероятностей поражения Q_{dVII} , Q_{dVIII} на различных расстояниях от обвалования (ограждения) парка. Графики полученных зависимостей условных вероятностей Q_{dVII} , 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_{dVII} - кривая 2

Условные вероятности поражения человека при взрыве паровоздушного облака Q_{dVII} , 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 селитебной зоне вблизи объекта

В соответствии с п.25 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 P полагаются одинаковыми.

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: $Q_{dIV} = 0,275$.

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

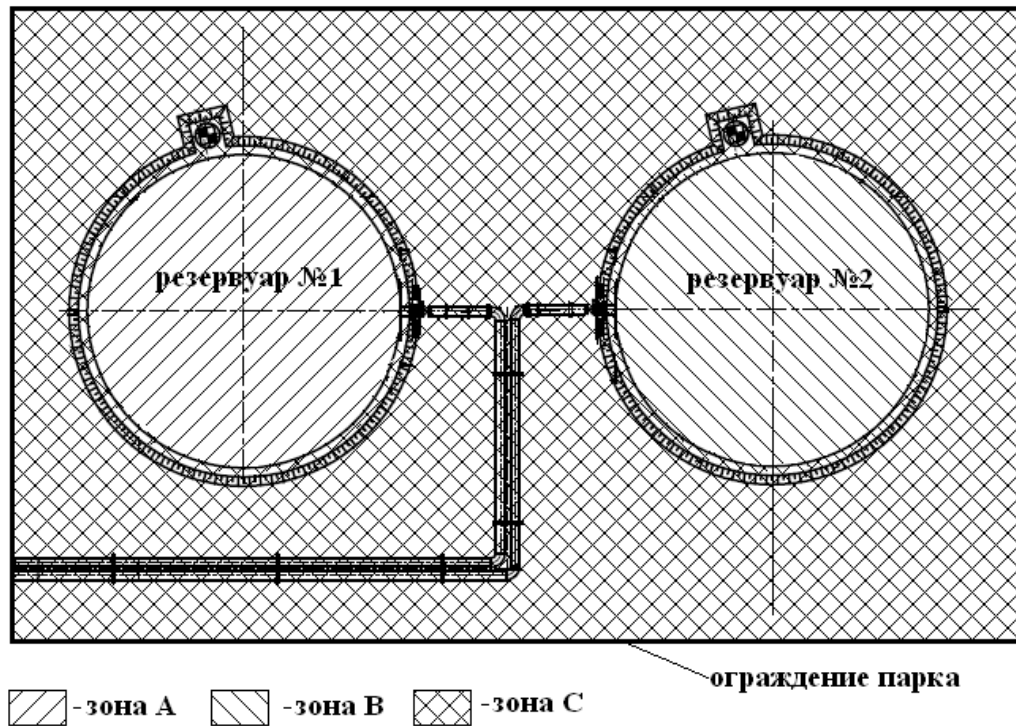


Рис. 3.2.12. Схема резервуарного парка к расчету потенциального пожарного риска в границах обвалования (ограждения)

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 P_A , определяемая по формуле (1), составляет:

$$P_A = \sum_{j=1}^J Q_{dj} \cdot Q_j = Q_{dI} \cdot Q_I + Q_{dII} \cdot Q_{II} + Q_{dIII} \cdot Q_{III} + Q_{dIV} \cdot Q_{IV} + Q_{dV} \cdot Q_V + Q_{dVI} \cdot Q_{VI} + Q_{dVII} \cdot Q_{VII} + Q_{dVIII} \cdot Q_{VIII} = 1 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 0,275 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

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: $Q_{dIII} = 0,275$.

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 P_B , определяемая по формуле (1), составляет:

$$P_B = \sum_{j=1}^J Q_{dj} \cdot Q_j = Q_{dI} \cdot Q_I + Q_{dII} \cdot Q_{II} + Q_{dIII} \cdot Q_{III} + Q_{dIV} \cdot Q_{IV} + Q_{dV} \cdot Q_V + Q_{dVI} \cdot Q_{VI} + Q_{dVII} \cdot Q_{VII} + Q_{dVIII} \cdot Q_{VIII} = 1 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} + 0,275 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

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: $Q_{dIII} = 0,275$.

Условная вероятность поражения Q_{dIV} в зоне С составляет: $Q_{dIV} = 0,275$.

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:

$$P_C = \sum_{j=1}^J Q_{dj} \cdot Q_j = Q_{dI} \cdot Q_I + Q_{dII} \cdot Q_{II} + Q_{dIII} \cdot Q_{III} + Q_{dIV} \cdot Q_{IV} + Q_{dV} \cdot Q_V + Q_{dVI} \cdot Q_{VI} + Q_{dVII} \cdot Q_{VII} + Q_{dVIII} \cdot Q_{VIII} = 1 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} + 0,275 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 0,275 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 9,2 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

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.

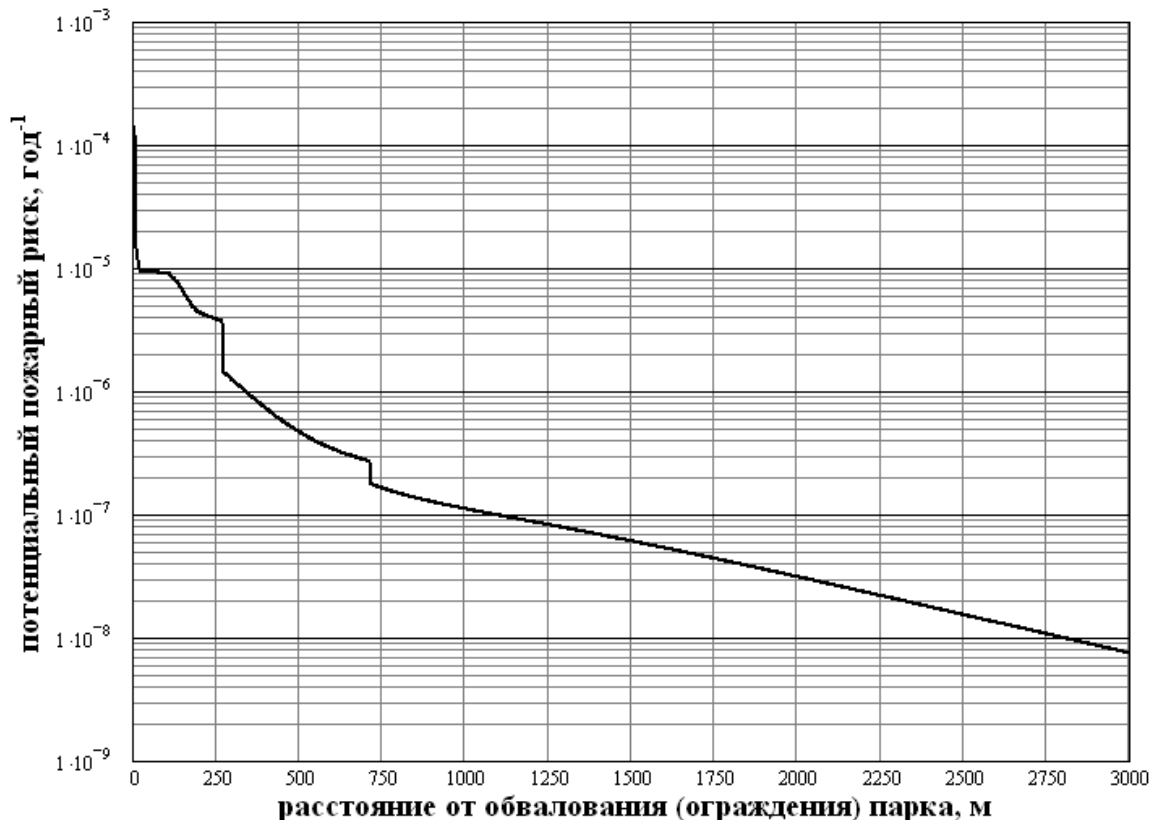


Рис. 3.2.13. Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния до обвалования (ограждения) парка

Индивидуальный пожарный риск на территории объекта.

Значение индивидуального риска для отдельного работника из числа персо-

нала 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 часов 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 $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

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

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

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

Индивидуальный и социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта.

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

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

В соответствии с п. 42 для людей, находящихся в селитебной 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 селитебной зоне вблизи объекта, составляет $7,4 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$ и не превышает нормативное значение.

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

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

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

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1.1

Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _A				
1.	Алюминий	Al	26,98	-	320	-	-	-	-	40	ГП	31097
2.	Амилацетат	C ₇ H ₁₄ O ₂	130,196	+43	+290	6,29350	1579,510	221,365	25÷147	1,08	ЛВЖ	29879
3.	Амилен	C ₅ H ₁₀	70,134	<-18	+273	5,91048	1014,294	229,783	-60÷100	1,49	ЛВЖ	45017
4.	н-Амиловый спирт	C ₅ H ₁₂ O	88,149	+48	+300	6,3073	1287,625	161,330	74÷157	1,46	ЛВЖ	38385
5.	Аммиак	NH ₃	17,03	-	+650	-	-	-	-	15,0	ГГ	18585
6.	Анилин	C ₆ H ₇ N	93,128	+73	+617	6,04622	1457,02	176,195	35÷184	1,3	ГЖ	32386
7.	Ацетальдегид	C ₂ H ₄ O	44,053	-40	+172	6,31653	1093,537	233,413	-80÷20	4,12	ЛВЖ	27071
8.	Ацетилен	C ₂ H ₂	26,038	-	+335	-	-	-	-	2,5	ГГ (ВВ)	49965
9.	Ацетон	C ₃ H ₆ O	58,08	-18	+535	6,37551	1281,721	237,088	-15÷93	2,7	ЛВЖ	31360
10.	Бензиловый спирт	C ₇ H ₈ O	108,15	+90	+415	-	-	-	-	1,3	ГЖ	-
11.	Бензол	C ₆ H ₆	78,113	-11	+560	5,61391 6,10906	902,275 1252,776	178,099 225,178	-20÷6 -7÷80	1,43	ЛВЖ	40576

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						А	В	С _А				
12.	Бензойная кислота	C ₇ H ₆ O ₂	122,12	-	+532	8,703213	2792,832	230,470	-	20	ГП	26007
13.	1,3-Бутадиен	C ₄ H ₆	54,091	-	+430	-	-	-	-	2,0	ГГ	44573
14.	н-Бутан	C ₄ H ₁₀	58,123	-69	+405	6,00525	968,098	242,555	-130÷0	1,8	ГГ	45713
15.	1-Бутен	C ₄ H ₈	56,107	-	+384	-	-	-	-	1,6	ГГ	45317
16.	2-Бутен	C ₄ H ₈	56,107	-	+324	-	-	-	-	1,8	ГГ	45574
17.	н-Бутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	+29	+330	6,25205	1430,418	210,745	59÷126	1,35	ЛВЖ	28280
18.	втор-Бутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛВЖ	28202
19.	н-Бутиловый спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,122	+35	+340	8,72232	2664,684	279,638	-1÷126	1,8	ЛВЖ	36805
20.	Винилхлорид	C ₂ H ₃ Cl	62,499	-	+470	6,0161	905,008	239,475	-65÷-13	3,6	ГГ	18496
21.	Водород	H ₂	2,016	-	+510	-	-	-	-	4,12	ГГ	119841
22.	Галловая кислота	C ₇ H ₆ O ₅	170,13	-	+407 (аэрогеля)	-	-	-	-	130	ГП	16516
23.	н-Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄	226,44	+128	+207	5,91242	1656,405	136,869	105÷287	0,47	ГЖ (ТГВ)	44312
24.	н-Гексан	C ₆ H ₁₄	86,177	-23	+233	5,99517	1166,274	223,661	-54÷69	1,24	ЛВЖ	45105

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						А	В	С _А				
25.	н-Гексиловый спирт	C ₆ H ₁₄ O	102,17	+60	+285	6,17894 7,23663	1293,831 1872,743	152,631 202,666	52÷157 60÷108	1,2	ЛВЖ	39587
26.	Гептан	C ₇ H ₁₆	100,203	-4	+223	6,07647	1295,405	219,819	60÷98	1,07	ЛВЖ	44919
27.	Гидразин	N ₂ H ₄	32,045	+38	+132	7,99805	2266,447	266,316	84÷112	4,7	ЛВЖ (ВВ)	14644
28.	Глицерин	C ₃ H ₈ O ₃	92,1	+198	+400	8,177393	3074,220	214,712	141÷263	2,6	ГЖ	16102
29.	Глюкоза	C ₆ H ₁₂ O ₆	180,1	-	+367 (аэрогеля)	-	-	-	-	35	ГП	15563
30.	Графит	C	12,001	-	+540- 600 (аэрогеля)	-	-	-	-	-	ГП	3,3·10 ⁷
31.	Декан	C ₁₀ H ₂₂	142,28	+47	+230	6,52023	1809,975	227,700	17÷174	0,7	ЛВЖ	44602
32.	Дивиниловый эфир	C ₄ H ₆ O	70,1	-30	+360	-	-	-	-	1,7	ЛВЖ	32610
33.	N,N-Диметилформамид	C ₃ H ₇ ON	73,1	+53	+440	6,15939	1482,985	204,342	25÷153	2,35	ЛВЖ	-
34.	1,4-Диоксан	C ₄ H ₈ O ₂	88,1	+11	+375	6,64091	1632,425	250,725	12÷101	2,0	ЛВЖ	-
35.	1,2-Дихлорэтан	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,96	+9	+413	6,78615	1640,179	259,715	-24÷83	6,2	ЛВЖ	10873

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						А	В	С _А				
36.	Диэтиламин	C ₄ H ₁₁ N	73,14	-14	+310	6,34794	1267,557	236,329	-33÷59	1,78	ЛВЖ	34876
37.	Диэтиловый эфир	C ₄ H ₁₀ O	74,12	-41	+180	6,12270	1098,945	232,372	-60÷35	1,7	ЛВЖ	34147
38.	н-Додекан	C ₁₂ H ₂₆	170,337	+77	+202	7,29574	2463,739	253,884	48÷214	0,63	ГЖ	44470
39.	Железо	Fe	56	-	+300-940 (аэровзвеси)	-	-	-	-	100-875	ГП	7450
40.	Изобутан	C ₄ H ₁₀	58,123	-76	+462	5,95318	916,054	243,783	-159÷12	1,81	ГГ	45578
41.	Изобутилен	C ₄ H ₈	56,11	-	+465	-	-	-	-	1,78	ГГ	45928
42.	Изобутиловый спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,12	+28	+390	7,83005	2058,392	245,642	-9÷116	1,8	ЛВЖ	36743
43.	Изопентан	C ₅ H ₁₂	72,15	-52	+432	5,91799	1022,551	233,493	-83÷28	1,36	ЛВЖ	45239
44.	Изопропилбензол	C ₉ H ₁₂	120,20	+37	+424	6,06756	1461,643	207,56	2,9÷152,4	0,88	ЛВЖ	46663
45.	Изопропиловый спирт	C ₃ H ₈ O	60,09	+14	+430	7,51055	1733,00	232,380	-26÷148	2,23	ЛВЖ	34139
46.	Кальций	Ca	40,08	-	+730-750 (аэрогеля)	-	-	-	-	-	ГП	15800

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						А	В	С _А				
47.	м-Ксилол	C ₈ H ₁₀	106,17	+28	+530	6,13329	1461,925	215,073	-20÷220	1,1	ЛВЖ	52829
48.	о-Ксилол	C ₈ H ₁₀	106,17	+31	+460	6,28893	1575,114	223,579	-3,8÷144,4	1,0	ЛВЖ	41217
49.	п-Ксилол	C ₈ H ₁₀	106,17	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	-8,1÷138,3	1,1	ЛВЖ	41207
50.	Магний	Mg	24,32	-	+420-440	-	-	-	-	25	ГП	25000
51.	Метан	CH ₄	16,04	-	+537	5,68923	380,224	264,804	-182÷-162	5,28	ГГ	50000
52.	Метиловый спирт	CH ₄ O	32,04	+6	+440	7,3527	1660,454	245,818	-10÷90	6,98	ЛВЖ	23839
53.	Метилпропилкетон	C ₅ H ₁₀ O	86,133	+6	+452	6,98913	1870,4	273,2	-17÷103	1,49	ЛВЖ	33879
54.	Метилэтилкетон	C ₄ H ₈ O	72,107	-6	-	7,02453	1292,791	232,340	-48÷80	1,90	ЛВЖ	-
55.	Нафталин	C ₁₀ H ₈	128,06	+80	+520	9,67944 6,7978	3123,337 2206,690	243,569 245,127	0÷80 80÷159	0,9	ТГВ	39435
56.	н-Нонан	C ₉ H ₂₀	128,257	+31	+205	6,17776	1510,695	211,502	2÷150	0,78	ЛВЖ	44684
57.	Оксид углерода	CO	28,01	-	+605	-	-	-	-	12,5	ГГ	10104
58.	Оксид этилена	C ₂ H ₄ O	44,05	-18	+430	-	-	-	-	3,2	ГГ (ВВ)	27696
59.	н-Октан	C ₈ H ₁₈	114,230	+14	+215	6,09396	1379,556	211,896	-14÷126	0,9	ЛВЖ	44787
60.	н-Пентаде-	C ₁₅ H ₃₂	212,42	+115	+203	6,0673	1739,084	157,545	92÷270	0,5	ГЖ	44342

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						А	В	С _А				
	кан											
61.	Пенополиуретан	-	-	-	+450	-	-	-	-	30	ГП	24850-27360
62.	н-Пентан	C ₅ H ₁₂	72,150	-44	+286	5,97208	1062,555	231,805	-50÷36	1,47	ЛВЖ	45350
63.	γ-Пиколлин	C ₆ H ₇ N	93,128	+39	+578	6,44382	1632,315	224,787	70÷145	1,4	ЛВЖ	36702
64.	Пиридин	C ₅ H ₅ N	79,10	+20	+530	5,91684	1217,730	196,342	-19÷116	1,8	ЛВЖ	35676
65.	Полипропилен	(C ₃ H ₆) _n	-	-	+325-388 (аэрогеля)	-	-	-	-	40	ГП	44000
66.	Полиэтилен	(C ₂ H ₄)	-	-	+380 (аэрогеля)	-	-	-	-	20	ГП	46590
67.	Пропан	C ₃ H ₈	44,096	-96	+470	5,95547	813,864	248,116	-189÷-42	2,3	ГГ	46353
68.	Пропилен	C ₃ H ₆	42,080	-	+455	5,94852	786,532	247,243	-107,3÷-47,1	2,4	ГГ	45604
69.	н-Пропиловый спирт	C ₃ H ₈ O	60,09	+23	+371	7,44201	1751,981	225,125	0÷97	2,3	ЛВЖ	34405
70.	Сахар (сахароза)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	342,3	-	+220 (аэрогеля)	-	-	-	-	35-58	ГП	16490
71.	Сера	S	256,5	-	+260 (аэро-	-	-	-	-	37,5	ГП	9210

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						А	В	С _А				
					геля)							
72.	Сероводород	H ₂ S	34,076	-	+246	-	-	-	-	4,3	ГГ	-
73.	Сероуглерод	CS ₂	76,14	-43	+102	6,12537	1202,471	245,616	-15÷80	1,0	ЛВЖ	14020
74.	Стирол	C ₈ H ₈	104,14	+30	+490	7,06542	2113,057	272,986	-7÷146	1,1	ЛВЖ	43888
75.	Тетрагидрофуран	C ₄ H ₈ O	72,1	-20	+250	6,12008	1202,29	226,254	23÷100	1,8	ЛВЖ	34730
76.	н-Тетрадекан	C ₁₄ H ₃₀	198,39	+103	+201	6,40007	1950,497	190,513	76÷254	0,5	ГЖ	44377
77.	Толуол	C ₇ H ₈	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	-26,7÷110,6	1,27	ЛВЖ	40936
78.	н-Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	184,36	+90	+204	7,09388	2468,910	250,310	59÷236	0,58	ГЖ	44424
79.	2,2,4-Триметилпентан	C ₈ H ₁₈	114,230	-4	+411	5,93682	1257,84	220,735	-60÷175	1,0	ЛВЖ	44647
80.	Уксусная кислота	C ₂ H ₄ O ₂	60,05	+40	+465	7,10337	1906,53	255,973	-17÷118	4,0	ЛВЖ	13097
81.	н-Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	156,31	+62	+205	6,80501	2102,959	242,574	31÷197	0,6	ГЖ	44527
82.	Формальдегид	CH ₂ O	30,03	-	+430	5,40973	607,399	197,626	-19÷60	7,0	ГГ	19007
83.	Фталевый ангидрид	C ₈ H ₄ O ₃	148,1	+153	+580	7,12439	2879,067	277,501	134÷285	1,7 (15г·м ⁻³)	ТГВ	-
84.	Хлорбензол	C ₆ H ₅ Cl	112,56	+29	+637	6,38605	1607,316	235,351	-35÷132	1,4	ЛВЖ	27315

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг ⁻¹
						А	В	С _А				
85.	Хлорэтан	C ₂ H ₅ Cl	64,51	-50	+510	6,11140	1030,007	238,612	-56÷12	3,8	ГГ	19392
86.	Циклогексан	C ₆ H ₁₂	84,16	-17	+259	5,96991	1203,526	222,863	6,5÷200	1,3	ЛВЖ	43833
87.	Цинк	Zn	65,4	-	+440 (аэрогеля)	-	-	-	-	250	ГП	5020
88.	Этан	C ₂ H ₆	30,069	-	+515	-	-	-	-	2,9	ГГ	52413
89.	Этилацетат	C ₄ H ₈ O ₂	88,10	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	15÷75,8	2,0	ЛВЖ	23587
90.	Этилбензол	C ₈ H ₁₀	106,16	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	-9,8÷136,2	1,0	ЛВЖ	41323
91.	Этилен	C ₂ H ₄	28,05	-	+435	-	-	-	-	2,7	ГГ	46988
92.	Этиленгликоль	C ₂ H ₆ O ₂	62,068	+111	+412	8,13754	2753,183	252,009	53÷198	4,29	ГЖ	19329
93.	Этиловый спирт	C ₂ H ₆ O	46,07	+13	+400	7,81158	1918,508	252,125	-31÷78	3,6	ЛВЖ	30562
94.	Этилцеллозольв	C ₄ H ₁₀ O ₂	90,1	+40	+235	7,86626	2392,56	273,15	20÷135	1,8	ЛВЖ	26382

Таблица П1.2

Значения показателей пожарной опасности некоторых смесей и технических продуктов

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), со- став смеси в % масс.	Суммарная формула	Моляр- ная мас- са, кг · кмоль ⁻¹	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Темпе- ратура самовос- пламе- нения, °С	Константы уравнения Антуана			Темпера- турный ин- тервал зна- чений кон- стант урав- нения Ан- туана, °С	Нижний кон- центрацион- ный предел распростра- нения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Харак- тери- стика веще- ства	Теплота сгора- ния, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _A				
1.	Бензин авиаци- онный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C _{7,267} H _{14,796}	102,2	-34	300	7,54424	2629,65	384,195	-40÷100	0,79	ЛВЖ	44094
2.	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084 - 67)	C _{6,991} H _{13,108}	97,2	-36	-	4,19500	682,876	222,066	-60÷85	1,08	ЛВЖ	44239
3.	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C _{7,024} H _{13,706}	98,2	-36	-	4,12311	664,976	221,695	-60÷95	1,06	ЛВЖ	43641
4.	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C _{6,911} H _{12,168}	95,3	-37	-	4,26511	695,019	223,220	-60÷90	1,1	ЛВЖ	43641
5.	Дизельное топливо “З” (ГОСТ 305-73)	C _{12,343} H _{23,889}	172,3	>+35	+225	5,07818	1255,73	199,523	40÷210	0,61	ЛВЖ	43590
6.	Дизельное топливо “Л” (ГОСТ 305-73)	C _{14,511} H _{29,120}	203,6	>+40	+210	5,00109	1314,04	192,473	60÷240	0,52	ЛВЖ	43419
7.	Древесно- стружечная пыль	-	-	-	-	-	-	-	-	60	ГП	14000- 17000
8.	Керосин освети- тельный КО-20	C _{13,595} H _{26,860}	191,7	>+40	+227	4,82177	1211,73	194,677	40÷240	0,55	ЛВЖ	43692

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), со- став смеси в % масс.	Суммарная формула	Моляр- ная мас- са, кг · кмоль ⁻¹	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Темпе- ратура самовос- пламе- нения, °С	Константы уравнения Антуана			Темпера- турный ин- тервал зна- чений кон- стант урав- нения Ан- туана, °С	Нижний кон- центрацион- ный предел распростра- нения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Харак- тери- стика веще- ства	Теплота сгора- ния, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _A				
	(ГОСТ 4753-68)											
9.	Керосин освети- тельный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	C _{10,914} H _{21,832}	153,1	>+40	+245	5,59599	1394,72	204,260	40÷190	0,64	ЛВЖ	43692
10.	Керосин освети- тельный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	C _{11,054} H _{21,752}	154,7	>+40	+236	5,12496	1223,85	203,341	40÷190	0,66	ЛВЖ	43692
11.	Ксилол (смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C ₈ H ₁₀	106,17	+29	+490	6,17972	1478,16	220,535	0÷50	1,1	ЛВЖ	43154
12.	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C _{10,5} H _{21,0}	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛВЖ	43966
13.	Масло трансфор- маторное (ГОСТ 10121-62)	C _{21,74} H _{42,28} S _{0,04}	303,9	>+135	+270	6,88412	2524,17	174,010	164÷343	0,29	ГЖ	43111
14.	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C _{22,25} H _{33,48} S _{0,34} N _{0,07}	312,9	>+170	+290	6,12439	2240,001	167,85	170÷376	0,2	ГЖ	42257
15.	Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	C _{19,04} H _{24,58} S _{0,196} N _{0,04}	260,3	>+189	+334	5,62020	2023,77	164,09	171÷396	0,2	ГЖ	41778
16.	Мука пшеничная	-	-	-	-	-	-	-	-	10-35	ГП	16807
17.	Мука ржаная	-	-	-	-	-	-	-	-	27	ГП	16740
18.	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат- 12, толуол-62,	C _{5,452} H _{7,606} O _{0,535}	81,7	-7	+550	6,29685	1373,667	242,828	-15÷100	1,65	ЛВЖ	40936

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), со- став смеси в % масс.	Суммарная формула	Моляр- ная мас- са, кг · кмоль ⁻¹	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Темпе- ратура самовос- пламе- нения, °С	Константы уравнения Антуана			Темпера- турный ин- тервал зна- чений кон- стант урав- нения Ан- туана, °С	Нижний кон- центрацион- ный предел распростра- нения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Харак- тери- стика веще- ства	Теплота сгора- ния, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _A				
	ацетон-26)											
19.	Растворитель Р-4 (ксилол-15, толу- ол-70, ацетон-15)	C _{6,231} H _{7,798} C _{0,223}	86,3	-4	-	6,27853	1415,199	244,752	-15÷100	1,38	ЛВЖ	43154
20.	Растворитель Р-5 (н-бутила-цетат- 30, кси-лол-40, аце-тон-30)	C _{5,309} H _{8,655} O _{0,897}	86,8	-9	-	6,30343	1378,851	245,039	-15÷100	1,57	ЛВЖ	43154
21.	Растворитель Р- 12 (н-бути- лацетат-30, кси- лол-10, толуол-60)	C _{6,837} H _{9,217} O _{0,515}	99,6	+10	-	6,17297	1403,079	221,483	0÷100	1,26	ЛВЖ	43154
22.	Растворитель М (н-бутила-цетат- 30, эти-лацетат-5, этиловый спирт- 60, изобутиловый спирт-5)	C _{2,761} H _{7,147} O _{1,187}	59,36	+6	+397	8,05697	2083,566	267,735	0÷50	2,79	ЛВЖ	36743
23.	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467- 56) (толуол-10, этиловый спирт- 64, н-бутиловый спирт-10, этил- целлозольв-16)	C _{2,645} H _{6,810} O _{1,038}	55,24	+10	+374	8,69654	2487,728	290,920	0÷50	2,85	ЛВЖ	40936

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), со- став смеси в % масс.	Суммарная формула	Моляр- ная мас- са, кг · кмоль ⁻¹	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Темпе- ратура самовос- пламе- нения, °С	Константы уравнения Антуана			Темпера- турный ин- тервал зна- чений кон- стант урав- нения Ан- туана, °С	Нижний кон- центрацион- ный предел распростра- нения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Харак- терис- тика ве- щества	Теплота сгора- ния, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _A				
24.	Растворитель РМЛ-218 (МРТУ 6-10-729-68) (н- бутилацетат-9, ксилол-21, 5, то- луол-21, 5, этило- вый спирт-16, н- бутиловый спирт- 3, этил- целлозольв-13, этилаце-тат-16)	C _{4,791} H _{8,318} O _{0,974}	81,51	+4	+399	7,20244	1761,043	251,546	0÷50	1,72	ЛВЖ	43154
25.	Растворитель РМЛ-315 (ТУ6- 10-1013-70) (н- бутила-цетат- 18,кси-лол-25, толуол-25, н- бутиловый спирт- 15, этилцелло- зольв-17)	C _{5,962} H _{9,779} O _{0,845}	94,99	+16	+367	6,83653	1699,687	241,00	0÷50	1,25	ЛВЖ	43154
26.	Сено	-	-		+180 (аэро- геля)	-	-	-	-	200	ГП	16652,3
27.	Табак	-	-	-	+230 (аэро- геля)	-	-	-	-	41	ГП	17000- 19000

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), со- став смеси в % масс.	Суммарная формула	Моляр- ная мас- са, кг · кмоль ⁻¹	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Темпе- ратура самовос- пламе- нения, °С	Константы уравнения Антуана			Темпера- турный ин- тервал зна- чений кон- стант урав- нения Ан- туана, °С	Нижний кон- центрацион- ный предел распростра- нения пламени, С _{НКПР} % (об.) (г/м ³ для ГП)	Харак- тери- стика веще- ства	Теплота сгора- ния, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _A				
28.	Торфяная пыль	-	-	-	+425	-	-	-	-	45	ГП	10440
29.	Хлопок	-	-	-	+407 (аэро- геля)	-	-	-	-	58	ГП	16300
30.	Целлюлоза	-	-	-	+270 (аэро- геля)	-	-	-	-	45-88	ГП	26100
31.	Шерсть	-	-	-	570-600	-	-	-	-	142	ГП	20502
32.	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C _{10,5} H _{21,0}	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛВЖ	43966

Таблица П1.3

Значения показателей пожарной опасности по типовой горючей нагрузке в помещениях

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Дымообразующая способность, (Нп·м²)/кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м²·с)	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельный расход кислорода, кг/кг	Выделение токсичных продуктов горения, кг/кг		
						CO ₂	CO	HCl
Верхняя одежда; ворс. ткани (шерсть и нейлон)	23,3	129	0,013	0,084	3,7	0,47	0,015	-
Резинотехнические изделия; резина, изделия из нее	36,0	850	0,011	0,018	2,99	0,42	0,015	-
Каюта с синтетической отделкой; дерево, ткани и отделка	15,8	134	0,015	0,018	1,25	0,85	0,043	0,023
Мебель; дерево и облицовка (0,9+0,1)	14,4	84	0,014	0,015	1,29	1,55	0,037	0,0036
Промтовары; текстильные изделия	16,7	61	0,024	0,007	2,56	0,88	0,063	-
Кабельный подвал/поток; кабели АВВГ и АПВГ	30,7	521	0,024	0,007	2,19	0,65	0,13	0,02
Толуол	40,9	562	0,048	-	3,1	3,68	0,148	-
Ксилол	см. табл. П.1.2	402	0,09	-	3,62	3,66	0,148	-
Бензин	см. табл. П.1.2	256	0,06	-	3,41	2,92	0,175	-
Керосин	43,7	438	0,048	-	3,34	2,92	3,34	-
Дизельное топливо	см. табл. П.1.2	620	0,043	-	3,37	3,16	0,122	-
Радиоматериалы; полиэтилен, полистирол, полипропилен, гетинакс	34,8	381	0,018	0,014	3,31	0,76	0,1	0,0073

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Дымообразующая способность, (Нп·м ²)/кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельный расход кислорода, кг/кг	Выделение токсичных продуктов горения, кг/кг		
						CO ₂	CO	HCl
Электротехнические материалы; текстолит, карболит	20,9	327	0,0076	0,013	1,95	0,38	0,056	0,0054
Турбинное масло (ТП-22)	41,9	243	0,03	-	0,28	0,7	0,28	-
Электрокабель АВВГ; ПВХ-оболочка и изоляция	25,0	635	0,024	0,007	2,19	0,4	0,109	0,025
Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка и полиэтилен	36,4	407	0,024	0,007	2,19	0,9	0,15	0,016
Телефонный кабель ТПВ; ПВХ и полиэтилен	34,6	556	0,0085	0,0022	2,19	0,9	0,124	0,016
Нефть	43,5 – 46,1	438	0,04	-	3,24	3,1	0,161	-
Ацетон	31,4	80	0,044	-	2,22	2,29	0,269	-
Этиловый спирт	30,6	80	0,033	-	2,36	1,94	0,269	-
Лесопильный цех; древесина	13,8	57	0,015	0,058	1,15	1,57	0,024	-
Цех деревообработки; древесина	13,8	57	0,015	0,022	1,15	1,57	0,024	-
Цех сушки древесины; древесина	13,8	57	0,015	0,038	1,15	1,57	0,024	-
Производство фанеры; древесины и фанера (0,5+0,5)	16,1	81	0,012	0,019	1,18	1,06	0,072	-
Штабель древесины; хвойный и лиственный лес	13,8	57	0,015	0,059	1,15	1,57	0,024	-
Хвойные древесные строительные материалы; штабель	13,8	61	0,006	0,059	1,15	1,57	0,024	-
Лиственные древесные строительные материалы; штабель	13,8	53	0,014	0,059	1,15	1,57	0,024	-

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Дымообра- зующая спо- собность, (Нп·м ²)/кг	Удельная мас- совая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость рас- пространения пламени, м/с	Удельный расход ки- слорода, кг/кг	Выделение токсичных про- дуктов горения, кг/кг		
						CO ₂	CO	HCl
Клееные стройматериалы; фа- нера	18,4	104	0,009	0,017	1,21	0,54	0,121	-
Сырье для легкой промышлен- ности; хлопок разрыхленный	16,4	0,6	0,021	0,045	2,3	0,57	0,0052	-
Сырье для легкой промышлен- ности; лен разрыхленный	15,7	3,4	0,021	0,05	1,83	0,36	0,0039	-
Сырье для легкой промышлен- ности; хлопок и капрон (0,75+0,25)	15,7	4,3	0,013	0,028	3,55	1,05	0,012	-
Сырье для легкой промышлен- ности; шерсть	21,8	164	0,02	0,028	1,76	0,72	0,015	-
Пищевая промышленность; пшеница, рис, гречиха и мука из них	17,0	1096	0,008	0,005	0,97	0,81	0,163	-
Сырье и изделия из синтетиче- ского каучука	43,0	212	0,011	0,014	2,99	1,41	0,15	0,005
Склад льноволокна	15,7	3,4	0,021	0,071	1,83	0,36	0,004	-
Склад хлопка в тюках	16,7	0,6	0,017	0,0042	1,15	0,58	0,0052	-
Склад бумаги в рулонах	15,1	41	0,008	0,005	1,16	0,66	0,108	-
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37,8	850	0,192	0,005	2,99	0,42	0,015	-
Склад оргстекла (ПММА)	26,4	78	0,004	0,008	2,09	1,8	0,127	-
Кабели и провода; 0,75·(АВВГ, АПВГ, ТПВ)+0,25·(КПРТ, ПР, ШРПС)	33,5	612	0,062	0,0054	2,39	0,66	0,1	0,014
Дерево и лакокрасочное покры- тие; 0,95·древесина +	13,9	64	0,023	0,015	1,19	0,72	0,02	0,0005

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Дымообра- зующая спо- собность, (Нп·м ²)/кг	Удельная мас- совая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость рас- пространения пламени, м/с	Удельный расход ки- слорода, кг/кг	Выделение токсичных про- дуктов горения, кг/кг		
						CO ₂	CO	HCl
0,05·(ФЛ+РХО)								
Автомобиль; 0,3·(резина, бен- зин)+0,15·ППУ, искусственная кожа ПВХ)+0,1·эмаль	31,7	487	0,023	0,0068	2,64	1,3	0,097	0,011
Упаковочная тара; древесина, картон, полистирол (0,5+0,25+0,25)	20,7	155	0,018	0,01	1,52	0,97	0,094	0,0046
Упаковка; бумага, картон, по- лиэтилен и полистирол (0,4+0,3+0,15+0,15)	23,5	172	0,013	0,004	1,7	0,68	0,112	0,0037
Индустриальное масло	42,7	480	0,043	-	1,59	1,07	0,122	-
Вешала текстильных изделий	16,7	61	0,025	0,0078	2,56	0,88	0,063	-

Таблица П1.4

**Удельная массовая скорость выгорания и низшая теплота сгорания
некоторых веществ и материалов**

Вещества и материалы	Низшая тепло- та сгорания, МДж/кг	Удельная массовая скорость выгора- ния, кг/(м²·с)
Бензол	См. табл. П1.1	0,073
Бумага разрыхленная	13,4	0,008
Бумага (книги, журналы)	13,4	0,0042
Волокно штапельное	13,8	0,0067
Волокно штапельное в кипах 40х40х40 см	13,8	0,023
Диэтиловый эфир	См. табл. П1.1	0,06
Древесина (бруски) влажность 13,7%	13,8	0,039
Древесина (мебель в зданиях при влажности 8-10%)	13,8	0,014
Изопропиловый спирт	См. табл. П1.1	0,031
Изопентан	См. табл. П1.1	0,010
Каучук СКС	43,9	0,013
Каучук натуральный	44,7	0,019
Книги на деревянных стеллажах	13,4	0,017
Киноплёнка триацетатная	18,8	0,009
Карболитовые изделия	26,9	0,0095
Лен разрыхленный	15,7	0,021
Мазут	39,8	0,035
Натрий металлический	10,9	0,018
Органическое стекло	27,7	0,016
Пенополиуретан	24,3	0,0028
Полистирол	39,0	0,014
Полипропилен	45,7	0,015
Полиэтилен	47,1	0,010
Резина	33,5	0,011
Текстолит	20,9	0,0067
Хлопок и капрон (3:1)	16,2	0,013
Хлопок в тюках (плотность 190 кг·м ⁻³)	16,8	0,0024
Хлопок разрыхленный	15,7	0,021

Таблица П1.5

Линейная скорость распространения пламени по поверхности материалов

Материалы	Линейная скорость распространения пламени, м/с
Угары текстильного производства в раз- рыхленном состоянии	0,1
Корд	0,017
Хлопок разрыхленный	0,042
Лен разрыхленный	0,05
Хлопок + капрон (3:1)	0,028

Материалы	Линейная скорость распространения пламени, м/с
Древесина в штабелях при различной влажности, при влажности (%):	
8 – 12	0,067
16 – 18	0,038
18 – 20	0,027
20 – 30	0,02
более 30	0,017
Подвешенные ворсистые ткани	0,067-0,1
Текстильные изделия в закрытом складе при загрузке 100 кг/м ²	0,006
Бумага в рулонах в закрытом складе при загрузке 140 кг/м ²	0,005
Синтетический каучук в закрытом складе при загрузке свыше 290 кг/м ²	0,007
Деревянные покрытия цехов большой площади, деревянные стены и стены, отделанные древесно-волоконными плитами	0,028-0,053
Соломенные и камышитовые изделия	0,067
Ткани (холст, байка, бязь):	
по горизонтали	0,013
в вертикальном направлении	0,3
в нормальном направлении к поверхности тканей при расстоянии между ними 0,2 м	0,04

Таблица П1.6

Дымообразующая способность веществ и материалов

Вещества и материалы	Дымообразующая способность, (Нп·м ²)/кг
Бутиловый спирт	80
Этилацетат	330
Циклогексан	470
Древесина	23
Древесное волокно (береза, осина)	104
ДСП, ГОСТ 10632-77	90
Фанера, ГОСТ 3916-65	140
Сосна	145
Береза	160
Древесно-волоконная плита (ДВП)	130
Линолеум ПВХ, ТУ 21-29-76-79	270
Стеклопластик, ТУ 6-11-10-62-81	340
Полиэтилен, ГОСТ 16337-70	890
Табак «Юбилейный» I сорт, вл. 13%	120
Пенопласт ПВХ-9, СТУ 14-07-41-64	1290
Пенопласт ПС-1-200	1000
Резина, ТУ 38-5-12-06-68	850
Полиэтилен высокого давления (ПЭФВ)	790
Пленка ПВХ марки ПДО-15	400

Вещества и материалы	Дымообразующая способность, (Нп·м ²)/кг
Пленка марки ПДСО-12	470
Лен разрыхленный	3,4
Ткань вискозная	63
Атлас декоративный	32
Репс	50
Ткань мебельная полушерстяная	116
Полотно палаточное	58

Таблица П1.7

Удельный выход (потребление) газов при горении веществ и материалов

Вещество или материал	Удельный расход кислорода, кг/кг	Выделение газов, кг/кг		
		CO ₂	CO	HCl
Хлопок	0,0052	0,57	2,3	-
Лен	0,0039	0,36	1,83	-
Хлопок + капрон (3:1)	0,012	1,05	3,55	-
Кабели АВВГ	0,11	-	-	0,023
Кабели АПВГ	0,15	-	-	0,016
Древесина	0,024	1,51	1,15	-
Древесина, огнезащищенная препаратом СДФ-552	0,12	1,96	1,42	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1

Частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов

Наименование оборудования	Инициирующее событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		50	$3,8 \cdot 10^{-6}$
		100	$1,7 \cdot 10^{-6}$
		Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$
Химические реакторы	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		50	$3,8 \cdot 10^{-6}$
		Полное разрушение	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Насосы (центробежные с одинарным торцевым уплотнением)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	5	$4,3 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Диаметр подводящего/отводящего трубопровода	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5	$1,1 \cdot 10^{-2}$
		12,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$
		25	$3,9 \cdot 10^{-4}$
		50	$1,3 \cdot 10^{-4}$
		Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при единичном объеме 450 м ³ и более)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$
		100	$1,2 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при единичном объеме менее 450 м ³)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$5,0 \cdot 10^{-4}$
		100	$5,0 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$8,0 \cdot 10^{-6}$
Одностенные изо-термические резервуары для хранения сжиженных газов	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	Утечка паров	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		150	$1,0 \cdot 10^{-4}$
		500	$8,0 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ	Пожар в кольцевом зазоре по периметру ре-	—	$4,6 \cdot 10^{-3}$

Наименование оборудования	Иницирующее аварийное событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
с плавающей крышей	резервуара		
	Пожар по всей поверхности резервуара	—	$9,3 \cdot 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ со стационарной крышей	Пожар на дыхательной арматуре	—	$9,0 \cdot 10^{-5}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	—	$9,0 \cdot 10^{-5}$
Гибкие соединения для проведения сливо-наливных операций	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$1,3 \cdot 10^{-5}$
		15	$1,0 \cdot 10^{-6}$
		Полное разрушение	$4,0 \cdot 10^{-5}$

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 приложении № 2 к настоящей Методике. При отсутствии необходимых данных допускается принимать частоту внешнего воздействия, приводящего к реализации огненного шара, равной $2,5 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ на один аппарат (резервуар).

Таблица П2.2

Частоты утечек из технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек (м ⁻¹ · 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	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$

Частота возникновения пожара в здании (помещении) Q (год⁻¹) может быть также определена исходя из данных по частотам возникновения пожаров в различных зданиях и площади здания (помещения).

Таблица П2.3

Частоты возникновения пожаров в зданиях

Наименование объекта	Частота возникновения пожара (м ⁻² · 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⁻¹) 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, м².

Таблица П2.4

Характеристика здания	a	b
Здания пищевой, табачной промышленности	0,0011	0,6
Переработка горючих веществ, химическая промышленность	0,0069	0,46
Размещение электротехнического оборудования	0,0061	0,59
Обслуживание транспортных средств	0,00012	0,86
Текстильная промышленность	0,0075	0,35
Полиграфические предприятия, издательское дело	0,0007	0,91
Административные здания производственных объектов	0,00006	0,9
Другие виды зданий производственных объектов	0,0084	0,41

Использование формулы (П2.1) и табл. П2.4 рекомендуется для помещений площадью более 1000 м².

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.

Таблица П3.1

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 горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении		
Диапазон	Номинальное среднее значение	Газ	Двухфазная смесь	Жидкость	Газ	Двухфазная смесь	Жидкость	Газ	Двухфазная смесь	Жидкость
Малый (<1)	0,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
Средний (1–50)	10	0,035	0,035	0,015	0,036	0,036	0,015	0,240	0,240	0,050
Большой (>50)	100	0,150	0,150	0,040	0,176	0,176	0,042	0,600	0,600	0,050
Полный разрыв	Не определено	0,200	0,200	0,050	0,240	0,240	0,061	0,600	0,600	0,100

Примечание: согласно методике [1] для ЛВЖ с температурой вспышки менее +28 °С должны использоваться условные вероятности воспламенения как для двухфазной среды.

В табл. П3.1 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 $P = (1-0,2) \cdot 0,24 \cdot 0,2 \cdot (1-0,6) \approx 0,015$.

На рисунках 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.

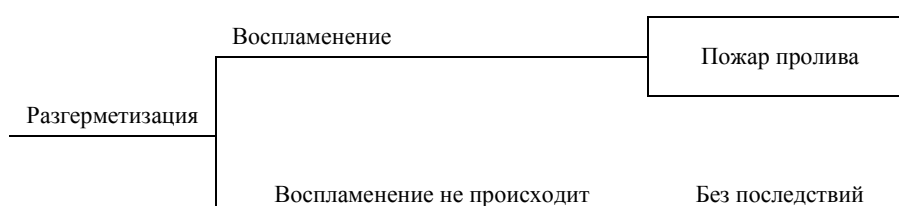


Рис. ПЗ.1. Типовое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией единицы технологического оборудования (1-го аппарата) и истечением ГЖ



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 Приложении 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 противопожарной защиты конкретного объекта, и при этом является необходимым. Примеры деревьев событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций с учетом возможности эскалации пожаров для приведены в разделе 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. При этом 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 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 иницирующего 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 шарах;
- 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 $P_{эск}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{эск} = P_{кр} \cdot (1 - P_{эф}), \quad (ПЗ.1)$$

где $P_{кр}$ - условная вероятность достижения опасными факторами иницирующего 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;

$P_{эф}$ - вероятность эффективной работы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, направленных на ограничение распространения пожара (сис-

темы 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 $P_{кр}$ для случая непосредственного воздействия открытого пламени на горючие вещества и материалы, 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:

$$P_{кр} = \begin{cases} 1, & \text{если } q \geq q_{кр}; \\ 0, & \text{если } q < q_{кр}. \end{cases} \quad (\text{ПЗ.2})$$

где q – интенсивность теплового излучения на соседнем участке, кВт/м²;

$q_{кр}$ – критическая интенсивность теплового излучения для рассматриваемого вида оборудования или материала, кВт/м².

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 приложении 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/м².

- Вероятность $P_{кр}$ для случая воздействия волны избыточного давления на технологическое оборудование, располагаемое на соседних участках, определяется соотношением:

$$P_{кр} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta P \geq \Delta P_{кр}; \\ 0, & \text{если } \Delta P < \Delta P_{кр}. \end{cases} \quad (\text{ПЗ.3})$$

где ΔP – 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 со взрывами на аналогичных производствах. При отсутствии данных допускается принимать $\Delta P_{кр}$ равным 10 кПа.

Вероятность P_{KR} 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) приложения 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 таблице П.3.2.

Таблица П3.1

Система противопожарной защиты	Условная вероятность эффективного срабатывания
Системы противопожарной защиты при соблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации:	
- автоматические установки пожарной сигнализации;	0,8
- автоматические установки пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организацией (вне зависимости от типа установки пожаротушения);	0,95
- автоматические установки водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией;	0,6
- остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией;	0,5
Системы противопожарной защиты при несоблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации (при отсутствии данных предприятия - поставщика)	0

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 селитебной зоне вблизи объекта.

Для оценки опасных факторов, реализующихся при пожарах в зданиях (помещениях) объекта используются методы, регламентированные приложением 5 к настоящему Пособию.

I. Истечение жидкости и газа

Истечение жидкости

2. Рассматривается резервуар, находящийся в обваловании (рис. П.4.1) [1].

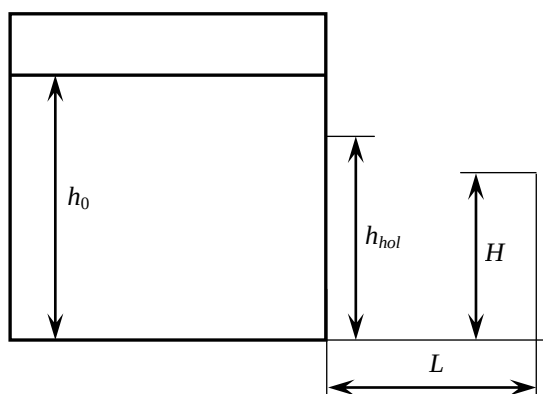


Рис. П.4.1. Схема для расчета истечения жидкости из отверстия в резервуаре

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:

$$G(t) = G_0 - \frac{\rho g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2}{A_R} \cdot t, \quad (\text{П4.1})$$

где G_0 – массовый расход в начальный момент времени, кг/с, определяемый по формуле:

$$G_0 = \mu \cdot \rho A_{hol} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_0 - h_{hol})}, \quad (\text{П4.2})$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$, м/с²; μ – коэффициент истечения; A_{hol} – площадь отверстия, м²; h_{hol} – высота

расположения отверстия, м; A_R – площадь сечения резервуара, м²; h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м.

Высота столба жидкости в резервуаре h (м) в зависимости от времени t определяется по формуле:

$$h(t) = h_0 - \frac{G_0}{\rho \cdot A_R} \cdot t + \frac{g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2 \cdot t^2}{2 \cdot A_R^2}. \quad (\text{П4.3})$$

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:

$$m = \int_0^{t_{pour}} G(t) \cdot dt = G_0 \cdot t_{pour} - \frac{\rho \cdot g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2}{2 \cdot A_R} \cdot t_{pour}^2, \quad (\text{П4.5})$$

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:

$$t_{pour} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}, \quad (\text{П4.6})$$

где a, b, c – параметры, которые определяются по формулам:

$$a = g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2 / (2 \cdot A_R^2), \text{ м/с}^2; \quad (\text{П4.7})$$

$$b = -\frac{G_0}{\rho \cdot A_R}, \text{ м/с}; \quad (\text{П4.8})$$

$$c = h_0 - H - \frac{L}{\mu}, \text{ м}. \quad (\text{П4.9})$$

В случае, если жидкость в резервуаре находится под избыточным давлением ΔP (Па), величина мгновенного массового расхода G_0 (кг/с) определяется по формуле:

$$G_0 = \mu \cdot \rho \cdot A_{hol} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho + 2 \cdot g \cdot (h_0 - h_{hol})}. \quad (\text{П4.10})$$

Для определения количества жидкости, перелившейся через обвалование, и времени перелива следует проинтегрировать соответствующую систему уравнений, где величина ΔP может быть переменной.

Истечение сжатого газа

3. Массовая скорость истечения сжатого газа из резервуара определяется по формулам [1]:

- докритическое истечение:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} \geq \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} ; \quad (\text{П4.11})$$

$$G = A_{hol} \cdot \mu \left[P_V \cdot \rho_V \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma-1} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{P_V} \right)^{2/\gamma} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{P_a}{P_V} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right]^{1/2} ; \quad (\text{П4.12})$$

- сверхкритическое истечение:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} < \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} ; \quad (\text{П4.13})$$

$$G = A_{hol} \cdot \mu \left[P_V \cdot \rho_V \cdot \gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2} , \quad (\text{П4.14})$$

где G – массовый расход, кг/с; P_a – атмосферное давление, Па; P_V – давление газа в резервуаре, Па; γ – показатель адиабаты газа; A_{hol} – площадь отверстия, м²; μ – коэффициент истечения (при отсутствии данных допускается принимать равным 0,8); ρ_V – плотность газа в резервуаре при давлении P_V , кг/м³.

Истечение сжиженного газа из отверстия в резервуаре

4. Массовая скорость истечения паровой фазы G_V (кг/с) определяется по формуле [1]:

$$G_V = \mu \cdot A_{hol} \sqrt{\left(\frac{P_c M}{R T_c} \right) \cdot P_c \cdot \left[1,167 \cdot P_R^5 + 0,534 \cdot P_R^{1,95} \right]} , \quad (\text{П4.15})$$

где μ – коэффициент истечения; A_{hol} – площадь отверстия, м²; 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:

$$G_L = G_V \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{\rho_L}{\rho_V} \right) \cdot P_R}}{\sqrt{22 \cdot T_R^{3/2}}} , \quad (\text{П4.16})$$

где ρ_L – плотность жидкой фазы, кг/м³; ρ_V – плотность паровой фазы, кг/м³; $T_R = T/T_c$ – 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

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h - h_G) \cdot u = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} + g \cdot h \right) = 0 \end{cases}, \quad (П4.17)$$

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/с².

Граничные условия с учетом геометрии задачи (рис. П4.2) имеют вид:

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad (П4.18)$$

$$u|_{x=0} = 0; \quad (П4.19)$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=b} = 0; \quad (П4.20)$$

$$u|_{x=b} = \begin{cases} g^{1/2} \cdot (h - a)^{3/2} / h, & \text{если } h > a \\ 0, & \text{если } h \leq a \end{cases}, \quad (П4.21)$$

где a – высота обвалования.

Массовая доля жидкости Q (%), перелившейся через обвалование к моменту времени T , определяется по формуле:

$$Q = 100 \cdot \frac{\int_0^T u_N \cdot (h_N - a) \cdot dt}{h_0 \cdot R}, \quad (П4.22)$$

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.

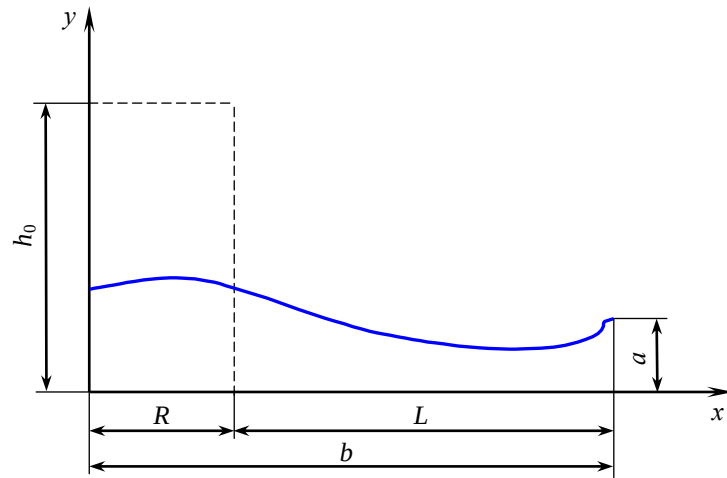


Рис. П4.2. Типичная картина движения жидкости в обваловании при квазимгновенном разрушении резервуара:

 —————
 уровень начального столба жидкости;
 уровень жидкости в промежуточный момент времени
 (результаты расчета)

График расчетной и экспериментальной зависимостей массовой доли перелившейся через обвалование жидкости Q от параметра a/h_0 представлен на рис. П4.3.

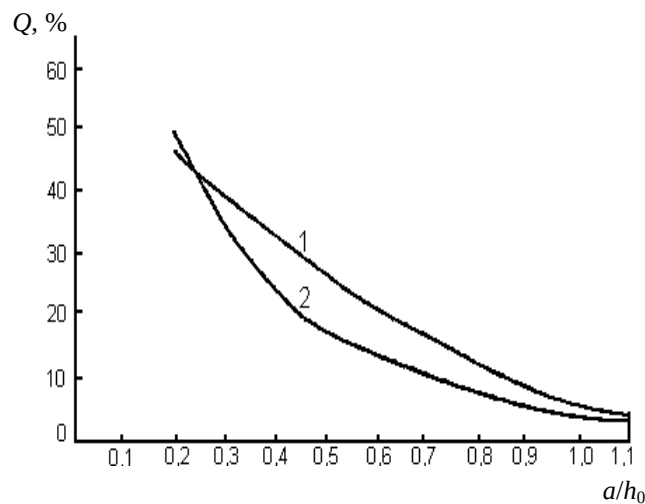


Рис. П4.3. Зависимость доли перелившейся через обвалование жидкости Q от параметра a/h_0 :

1 – расчет; 2 – эксперимент

Также для оценки массы перелившейся через обвалование жидкости ожжет быть оценено по следующей формуле:

$$\frac{M_p}{M_0} = 0,35 \cdot \left[0,9 + \left(\frac{R}{L} \right)^2 - \frac{a}{h_0} \right]^3, \quad (\text{П4.22.1})$$

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

6. 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; ρ_L – плотность жидкости, кг/м³; V_R – объем жидкости в резервуаре, м³.

Масса жидкости, поступившей самотеком при полном разрушении наземного или надземного трубопровода, выходящего из резервуара, определяется по формулам:

$$m_a = G_L \cdot \tau + \frac{\pi}{4} \cdot d_P^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n L_i \right) \cdot \rho_L, \quad (\text{П4.24})$$

где

$$G_L = \mu \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_P^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_L \cdot \Delta P_R}, \quad (\text{П4.25})$$

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; μ – коэффициент истечения; τ – 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; ΔP_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 $F_{\text{пр}}$ (м²) жидкости определяется по формуле

$$F_{\text{пр}} = f_P \cdot V_{\text{ж}}, \quad (\text{П4.27})$$

где f_P – коэффициент разлития, м⁻¹ (при отсутствии данных допускается принимать равным 5 м⁻¹ при проливе на неспланированную грунтовую поверхность, 20 м⁻¹ при проливе на спланированное грунтовое покрытие, 150 м⁻¹ при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие); $V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м³.

Масса паров ЛВЖ, выходящих через дыхательную арматуру

8. В случае наполнения резервуара масса паров определяется по формуле

$$m_V = \rho_V \cdot V_R \cdot P_n / P_0, \quad (\text{П4.28})$$

где

$$\rho_V = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_0)}, \quad (\text{П4.29})$$

где m_V – масса выходящих паров ЛВЖ, кг; ρ_V – плотность паров ЛВЖ, кг/м³; P_n – 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^3 ; M – молярная масса паров ЛВЖ, кг/кмоль ; V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3/\text{кмоль}$; t_0 – расчетная температура, $^\circ\text{C}$.

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 τ_E – время поступления паров из резервуара, с ; F_R – максимальная площадь поверхности испарения ЛВЖ в резервуаре, м^2 ; W – интенсивность испарения ЛВЖ, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (определяется в соответствии с разделом 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 (далее – НКПР), при неподвижной воздушной среде определяется по формулам:

- для горючих газов (далее – ГГ)

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}; \quad (\text{П4.32})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{П4.33})$$

где $m_{\text{Г}}$ – масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг ; $\rho_{\text{Г}}$ – плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м^3 ; $C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ, % (об.);

- для паров ЛВЖ

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \cdot \left(\frac{T}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{н}}} \right)^{0,33}; \quad (\text{П4.34})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,12 \cdot \left(\frac{T}{3600} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{н}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{П4.35})$$

где $m_{\text{п}}$ – 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, кПа ; $P_{\text{н}}$ – давление насыщенных паров при расчетной температуре, кПа ; T – продолжительность поступления паров в открытое пространство, с ; $C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени паров, % (об.).

За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают внешние габариты

ритные 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_{Γ} ;
- стехиометрическая концентрация горючего вещества в смеси с воздухом $C_{ст}$;
- масса горючего вещества M_{Γ} , содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени. Допускается величину M_{Γ} 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_{Γ} 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

$$E = \begin{cases} M_{\Gamma} \cdot E_{уд}, & C_{\Gamma} \leq C_{ст} \\ M_{\Gamma} \cdot E_{уд} \cdot \frac{C_{ст}}{C_{\Gamma}}, & C_{\Gamma} > C_{ст} \end{cases} \quad (П4.36)$$

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.

Таблица П4.1

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
Ацетилен Винилацетилен Водород Гидразин Изопропилнитрат Метилацетилен Нитрометан Окись пропилена Окись этилена Этилнитрат	Акрилонитрил Акролеин Бутан Бутилен Бутадиен 1,3-Пентадиен Пропан Пропилен Сероуглерод Этан Этилен Эфиры: диметиловый дивиниловый метилбутиловый диэтиловый диизопропиловый Широкая фракция легких углеводородов	Ацетальдегид Ацетон Бензин Винилацетат Винилхлорид Гексан Генераторный газ Изооктан Метиламин Метилацетат Метилбутилкетон Метилпропилкетон Метилэтилкетон Октан Пиридин Сероводород Спирты: метиловый этиловый пропиловый амиловый изобутиловый изопропиловый Циклогексан	Аммиак Бензол Декан Дизтопливо о-Дихлорбензол Додекан Керосин Метан Метилбензол Метилмеркаптан Метилхлорид Нафталин Окись углерода Фенол Хлорбензол Этиленбензол Дихлорэтан Трихлорэтан

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
		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 энерговыделения. Для типичных углеводородов принимается в расчет значение удельной теплоты сгорания $E_{уд0} = 44$ МДж/кг. Для иных горючих веществ в расчетах используется удельное энерговыделение $E_{уд} = \beta E_{уд0}$. Здесь β – корректировочный параметр. Для условно выделенных классов горючих веществ величины параметра β представлены в табл. П4.2.

Таблица П4.2

Классы горючих веществ	β	Классы горючих веществ	β
Класс 1		Класс 3	
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
Класс 2		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	Класс 4	
1,3-Пентадиен	1,00	Метан	1,14
Этан	1,08	Трихлорэтан	0,14

Классы горючих веществ	β	Классы горючих веществ	β
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
Акрилонитрил	0,67	Метилмеркаптан	0,53
Класс 3		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 и 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.

Таблица П4.3

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 ΔP и импульс фазы сжатия I^+) в зависимости от расстояния от центра облака рассчитываются исходя из ожидаемого режима сгорания облака.

Класс 1 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)

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66 \cdot (\ln(R_x)) + 0,260 \cdot (\ln(R_x))^2; \quad (\text{П4.40})$$

$$\ln(I_x) = -3,4217 - 0,898 \cdot (\ln(R_x)) - 0,0096 \cdot (\ln(R_x))^2. \quad (\text{П4.41})$$

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

20. 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

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right); \quad (\text{П4.44})$$

$$I_{x1} = W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right); \quad (\text{П4.45})$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right), \quad (\text{П4.46})$$

где σ – 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 ΔP и импульс I^+ в волне давления, образующиеся при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ, ГЖ или сжиженным углеводородным газом (далее – СУГ) в очаге пожара, определяются по формулам

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + 3 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + 5 \cdot \frac{m_{\text{пр}}}{r^3} \right); \quad (\text{П4.47})$$

$$I^+ = 123 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r}; \quad (\text{П4.48})$$

$$m_{\text{пр}} = \left(\frac{E_{\text{eff}}}{4,52} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (\text{П4.49})$$

где r – расстояние от центра резервуара, м; E_{eff} – эффективная энергия взрыва, рассчитываемая по формуле

$$E_{\text{eff}} = k \cdot C_p \cdot m \cdot (T - T_b), \quad (\text{П4.50})$$

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/м²) для пожара пролива ЛВЖ, ГЖ или СУГ определяется по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (\text{П4.52})$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Значение E_f принимается на основе имеющихся экспериментальных данных или по табл. П4.4. При отсутствии данных для нефтепродуктов допускается принимать величину E_f равной 40 кВт/м².

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 ² , при d , м					m' , кг/(м ² · с)
	10	20	30	40	50	
Сжиженный природный газ (далее – СПГ)	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,1
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 м и 50 м соответственно.

При отсутствии данных для нефти и нефтепродуктов допускается величину E_f (кВт/м²) определять по формуле:

$$E_f = 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}), \quad (\text{П4.53})$$

где d - эффективный диаметр пролива, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину E_f (кВт/м²) определять по формуле:

$$E_f = \frac{0,4 \cdot m' \cdot H_{CT}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)}, \quad (\text{П4.53.1})$$

где m' - удельная массовая скорость выгорания, кг/(м² с); H_{CT} - удельная теплота сгорания, кДж/кг; L - длина пламени, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину m' (кг/(м² с)) определять по формуле:

$$m' = \frac{0,001 \cdot H_{CT}}{L_g + C_p \cdot (T_b - T_a)}, \quad (\text{П4.53.2})$$

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 определяются по формулам

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right\} \right]; \quad (\text{П4.54})$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}}\right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right]; \quad (\text{П4.55})$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S}; \quad (\text{П4.56})$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S}; \quad (\text{П4.57})$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d}; \quad (\text{П4.58})$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d}, \quad (\text{П4.59})$$

где r – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d – эффективный диаметр пролива, м; H – высота пламени, м.

Эффективный диаметр пролива d (м) рассчитывается по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (\text{П4.60})$$

где F – площадь пролива, м².

Высота пламени H (м) определяется по формуле

$$H = 42 \cdot d \cdot \left[\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right]^{0,61}, \quad (\text{П4.61})$$

где m' – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м² · с); ρ_a – плотность окружающего воздуха, кг/м³; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$, м/с².

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяется по формуле

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot d - 0,5 \cdot d]. \quad (\text{П4.62})$$

При необходимости может быть учтено влияние ветра на форму пламени.

С учетом влияния ветра на форму пламени факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, для площадок, расположенных в 90°-м секторе в направлении наклона пламени, определяются формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctg D + E \cdot \left[\frac{a^2 + b^2 + 1 - 2 \cdot b \cdot \sin \theta + a \cdot \sin \theta}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\}, \quad (\text{П4.62.1})$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + b^2 + 1 - 2 \cdot b \cdot \sin \theta + a \cdot b \cdot \sin \theta}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\}, \quad (\text{П4.62.2})$$

$$a = \frac{2 \cdot L}{d}, \quad (\text{П4.62.3})$$

$$b = \frac{2 \cdot X}{d}, \quad (\text{П4.62.4})$$

$$A = \sqrt{a^2 + b^2 + 1 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \sin \theta}, \quad (\text{П4.62.5})$$

$$B = \sqrt{a^2 + b^2 - 1 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \sin \theta}, \quad (\text{П4.62.6})$$

$$C = \sqrt{1 + b^2 - 1 \cdot \cos^2 \theta}, \quad (\text{П4.62.7})$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)}, \quad (\text{П4.62.8})$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta}, \quad (\text{П4.62.9})$$

$$F = \sqrt{X^2 - 1}, \quad (\text{П4.62.10})$$

где X - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d - эффективный диаметр пролива, м; L - длина пламени, м; θ - 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 (П4.54)-(П4.59).

Длина пламени L (м) определяется по формулам:

при $u_* \geq 1$

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21}, \quad (\text{П4.62.11})$$

при $u_* < 1$ – по формуле П4.61,

где

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} \quad (\text{П4.62.12})$$

где m' - удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²·с); ρ_a - плотность окружающего воздуха, кг/м³; ρ_{Π} - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м³; w_0 - скорость ветра, м/с; g - ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра θ рассчитывается по формуле:

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases} \quad (\text{П4.62.13})$$

Огненный шар

24. Интенсивность теплового излучения q (кВт/м²) для огненного шара определяется по формуле (П4.52).

Величина E_f определяется на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать E_f равной 450 кВт/м².

Значение F_q определяется по формуле

$$F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \cdot [(H/D_s + 0,5)^2 + (r/D_s)^2]^{1,5}}, \quad (\text{П4.63})$$

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

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327}, \quad (\text{П4.64})$$

где m – масса продукта, поступившего в окружающее пространство, кг.

Величину H допускается принимать равной $D_s/2$.

Время существования огненного шара t_s (с) определяется по формуле

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303}. \quad (\text{П4.65})$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывается по формуле:

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_S / 2)]. \quad (\text{П4.66})$$

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

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}}, \quad (\text{П4.67})$$

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/(м² · с)) для ненагретых жидкостей определяется по формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n, \quad (\text{П4.68})$$

где η – 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.

Таблица П4.5

Скорость воздушного потока, м/с	Значение коэффициента η при температуре t (°C) воздуха				
	10	15	20	30	35
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, °С.

В приложении 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 δ определяется по формуле

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{C_p \cdot (T_a - T_b)}{L_g}\right), \quad (\text{П4.69})$$

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 парокпельное 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/(м² · с)) определяется по формуле

$$W = \frac{(\lambda_s \cdot C_s \cdot \rho_s)^{0,5} \cdot (T_0 - T_b)}{L_g \cdot (\pi \cdot t)^{0,5}} + \frac{0,035 \cdot u^{0,8} \cdot \lambda_a \cdot (T_0 - T_b)}{(v_a^{0,8} \cdot d^{0,2} \cdot L_g)}, \quad (\text{П4.70})$$

где λ_s – коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается жидкость, Вт/(м · К); C_s – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг · К); ρ_s – плотность материала, кг/м³; T_0 – начальная температура материала, К; t – текущее время с момента начала испарения, с (не менее 10 с); λ_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 , м²/с.

IX. Размеры факела при струйном горении

28. При струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ и СПГ 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 или СПГ 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 оценок пожарной опасности горящего факела при струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ и СПГ принимаются следующие допущения:

- зона непосредственного контакта пламени с окружающими объектами, т. е. область наиболее опасного теплового воздействия, интенсивность которого может быть принята 100 кВт/м^2 , 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^2 ;
- тепловое излучение от вертикальных факелов может быть определено по формулам (П4.52)–(П4.59), (П4.62), принимая H равным L_F , d равным D_F , а E_f по табл. П4.4 в зависимости от вида топлива. При отсутствии данных допускается E_f принимать равной 200 кВт/м^2 ;
- 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° -й сектор, ограниченный радиусом, равным L_F);
- при мгновенном воспламенении струи газа возможность формирования волн давления допускается не учитывать.

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:

$$\tau_{\text{от}} = \min t_{\text{КР}}^T, t_{\text{КР}}^{\text{П.В}}, t_{\text{КР}}^{\text{O}_2}, t_{\text{КР}}^{\text{Т.Г}}, \dots \quad (\text{П5.1})$$

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°C;
- по тепловому потоку - 1400 Вт/м²
- по потере видимости - 20 м;
- по пониженному содержанию кислорода - 0,226 кг·м⁻³;
- по каждому из токсичных газообразных продуктов горения (CO₂ - 0,11 кг·м⁻³, CO - 1,16·10⁻³ кг·м⁻³, HCL - 23·10⁻⁶ кг·м⁻³).

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.).

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.

Для помещения очага пожара, удовлетворяющего критериям применения интегрального метода, критическую продолжительность пожара $t_{кр}$ (с) по условию достижения каждым из опасных факторов пожара предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне) можно оценить по

формулам:

по повышенной температуре:

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_o}{273 + t_o \cdot Z} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.2)$$

по потере видимости:

$$t_{кр}^{n.в.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{np} \cdot B \cdot D_m \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.3)$$

по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.4)$$

по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{кр}^{m.г.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.5)$$

$$B = \frac{353 \cdot C_P \cdot V}{(1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q}, \quad (П5.6)$$

где t_o - 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/сⁿ; Z - безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения опасного фактора пожара по высоте помещения; Q - низшая теплота сгорания материала, МДж/кг; C_P - удельная изобарная теплоемкость воздуха, МДж/кг; φ - коэффициент теплопотерь; η - коэффициент полноты горения; V - свободный объем помещения, м³; α - коэффициент отражения предметов на путях эвакуации; E - начальное освещение, лк;

$l_{\text{ПР}}$ - предельная дальность видимости в дыму, м; D_m - дымообразующая способность горящего материала, $\text{Нп} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$; L - удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг горючего вещества, $\text{кг}/\text{кг}$; X - предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, $\text{кг}/\text{м}^3$; L_{O_2} - удельный расход кислорода, $\text{кг}/\text{кг}$.

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:

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \frac{h}{H}\right), \text{ при } H \leq 6 \text{ м}, \quad (\text{П5.7})$$

где h - высота рабочей зоны, м;

H - высота помещения, м.

Высота рабочей зоны определяется по формуле:

$$h = h_{\text{пл}} + 1,7 - 0,5 \cdot \delta, \quad (\text{П5.8})$$

где $h_{\text{пл}}$ - высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения, м; δ - 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 расположенные в помещении участки возможного пребывания людей.

Параметры A и n определяются следующим образом:

для случая горения жидкости с установившейся скоростью:

$$A = \Psi_F \cdot F, \text{ при } n = 1; \quad (\text{П5.9})$$

для случая горения жидкости с неустановившейся скоростью:

$$A = \frac{0,67 \cdot \Psi_F \cdot F}{\sqrt{\tau_{\text{СТ}}}}, \text{ при } n = 1,5; \quad (\text{П5.10})$$

для случая кругового распространения пламени по поверхности горючего вещества или материала:

$$A = 1,05 \cdot \Psi_F \cdot v^2, \text{ при } n = 3; \quad (\text{П5.11})$$

для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени:

$$A = \Psi_F \cdot v \cdot b, \text{ при } n = 2, \quad (\text{П5.12})$$

где Ψ_F - удельная массовая скорость выгорания вещества, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; F - площадь пролива жидкости; $\tau_{\text{СТ}}$ - время установления стационарного режима горения жидкости, с; v - линейная скорость распространения пламени, $\text{м}/\text{с}$; 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°C - 180 с;

для жидкостей с температурой кипения от 101 до 150°C - 240 с;

для жидкостей с температурой кипения более $150^{\circ}\text{C} - 360^{\circ}\text{C}$.

Случай факельного горения в помещении может рассматриваться как горение жидкости с установившейся скоростью с параметром A равным массовому расходу истечения горючего вещества из оборудования и показателем степени n равным 1.

При отсутствии специальных требований значения α и E принимаются равными 0,3 и 50 лк соответственно, а $l_{\text{ЛП}}$ равным 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 δ_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

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (\text{П5.13})$$

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

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1}, \quad (\text{П5.14})$$

где l_1 – длина первого участка пути, м; v_1 – скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяют по таблице П5.1 в зависимости от плотности D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 , определяется по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot \delta_1}, \quad (\text{П5.15})$$

где N_1 – число людей на первом участке, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м^2 , принимаемая равной 0,125; δ_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

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П5.16})$$

где δ_i, δ_{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 (П5.15).

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, ин- тенсив- ность q , м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость v , м/мин	Интенсив- ность q , м/мин		Скорость v , м/мин	Интен- сивность q , м/мин	Скорость v , м/мин	Интен- сивность q , м/мин
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

П р и м е ч а н и е. 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 (П5.16), меньше или равно $q_{\max}$, то время движения по участку пути t_i , мин, равно

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}, \quad (\text{П5.17})$$

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 (П5.16), больше $q_{\max}$, то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (\text{П5.18})$$

При невозможности выполнения условия (П5.18) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i определяют по таблице 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

$$t_{\text{зад}}^i = N \cdot f \cdot \left(\frac{1}{q_D \cdot \delta_{i+1}} - \frac{1}{q_i \cdot \delta_i} \right), \quad (\text{П5.19})$$

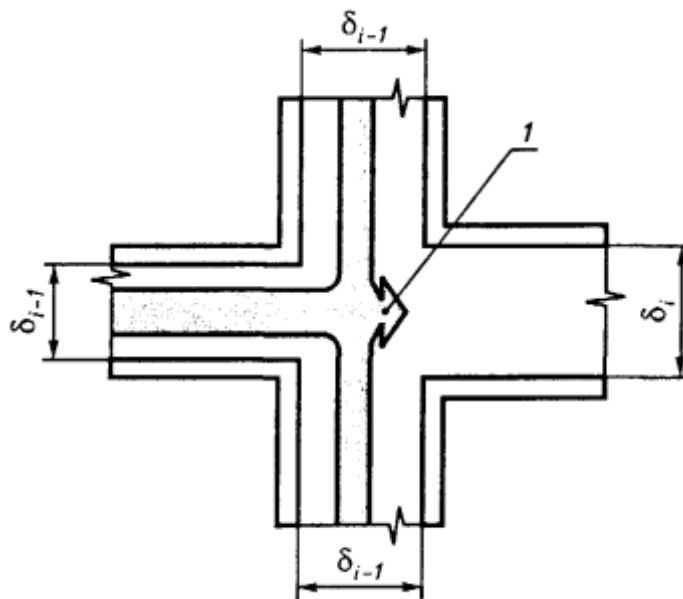
где N – количество людей, чел.; f – площадь горизонтальной проекции, м²; q_D – интенсивность движения через участок ($i+1$) при плотности 0,9 и более, м/мин; δ_{i+1} – ширина участка, м, при вхождении на который образовалось скопление людей; q_i – интенсивность движения на участке i , м/мин; δ_i – ширина предшествующего участка i , м.

Время существования скопления $t_{\text{ск}}$ на участке i определяется по формуле

$$t_{\text{ск}} = \frac{N \cdot f}{q_D \cdot b_{i+1}}. \quad (\text{П5.20})$$

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

$$t_i = \frac{l_i}{v_i} + t_{\text{зад}}. \quad (\text{П5.21})$$



1 — начало участка i

Рис. П5.1. Слияние людских потоков

При слиянии в начале участка i двух и более людских потоков (рис. П5.1) интенсивность движения q_i , м/мин, определяется по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П5.22})$$

где q_{i-1} — интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале участка i , м/мин; δ_{i-1} — ширина участков пути слияния, м; δ_i — ширина рассматриваемого участка пути, м.

Если значение q_i , определенное по формуле (П5.22), больше $q_{\max}$, то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, чтобы соблюдалось условие (П5.18). В этом случае время движения по участку i определяется по формуле (П5.17).

**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.

I. 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. П6.1.

Таблица П6.1

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 Pr описывается формулой

$$Pr = a + b \cdot \ln S, \quad (П6.1)$$

где a, b – константы, зависящие от степени поражения и вида объекта; S – интенсивность воздействующего фактора.

Соотношения между величиной Pr и условной вероятностью поражения человека приведены в табл. П6.2.

Таблица П6.2

Условная вероятность по- ражения, %	Величина пробит-функции Pr									
	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. П6.2 необходимых данных значения условной вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ в зависимости от значения пробит-функции Pr определяются по формуле

$$Q_{dj}(a) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi} \int_{-\infty}^{\text{Pr}-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU. \quad (\text{П6.2})$$

При воздействии волны давления на человека, находящегося вне здания, формулы для пробит-функции имеют вид

$$\text{Pr} = 5,0 - 5,74 \cdot \ln S; \quad (\text{П6.3})$$

$$S = \frac{4,2}{\bar{P}} + \frac{1,3}{\bar{i}}; \quad (\text{П6.4})$$

$$\bar{P} = \frac{\Delta P}{P_0}; \quad (\text{П6.5})$$

$$\bar{i} = \frac{I^+}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}}, \quad (\text{П6.6})$$

где m – масса тела человека (допускается принимать равной 70 кг), кг; ΔP – 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

$$\text{Pr} = 5,0 - 0,26 \cdot \ln V; \quad (\text{П6.7})$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3}; \quad (\text{П6.8})$$

- для полного разрушения

$$\text{Pr} = 5,0 - 0,22 \cdot \ln V; \quad (\text{П6.9})$$

$$V = \left(\frac{40000}{\Delta P}\right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I^+}\right)^{11,3}. \quad (\text{П6.10})$$

При оценке условной вероятности поражения человека формулы (П6.3)-(П6.6) могут применяться только в отношении участков территории производственного объекта, на которых отсутствуют какие-либо здания, сооружения, строения. Для оценки условной вероятности поражения людей, находящихся в селитебной зоне, а также на участках территории производственных объектов, характеризующихся наличием зданий, сооружений и строений, должны применяться формулы (П6.7), (П6.8)

При оценке условной вероятности поражения человека, находящегося в здании, следует также использовать пробит-функцию, определяемую по формулам (П6.7), (П6.8).

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. П6.3, для различных степеней поражения человека – в табл. П6.4.

Таблица П6.3

Материалы	q_{CR} , кВт/м ²
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью 417 кг/м ³)	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-волоконная	13,0
Плита древесно-стружечная	12,0
Плита древесно-стружечная с отделкой «Полиплен»	12,0
Плита древесно-волоконная 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

Материалы	q_{CR} , кВт/м ²
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 П6.4

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт/м ²
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

$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}), \quad (\text{П6.11})$$

где t – эффективное время экспозиции, с; q – интенсивность теплового излучения, кВт/м².

Величина эффективного времени экспозиции t определяется по формулам:

- для огненного шара

$$t = 0,92 \cdot m^{0,303}; \quad (\text{П6.12})$$

- 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/м²); 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^2 . Длина наклонных участков пути принимается по их проектному значению. Пандусы, если их наклон менее 1:8, допускается 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.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утверждена приказом МЧС от 10.07.2009 г №404, зарегистрировано в Минюсте от 17.08.2009 г №14541).
2. Постановление Правительства РФ от 31 марта 2009 г. № 272 "О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска".
3. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
4. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
5. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»
6. Постановление Правительства РФ № 87 от 16 февраля 2008 г. «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
7. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. Изд.: в 2 книгах / 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.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. – 248 с.
9. Пособие по применению НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» при рассмотрении проектно-сметной документации / Шебеко Ю. Н., Смолин И. М., Молчадский И. С. и др. – М.: ВНИИПО, 1998. – 119 с.
10. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Учебное 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. ИЕС 61025:1990. Fault Tree Analysis (гармонизированный национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.13-2005 «Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей»).
15. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (утверждена приказом МЧС от 30.06.2009 г №382, зарегистрировано в Минюсте от 06.08.2009 г №14486);
16. СНиП 23-01-99. 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.