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

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

ПОСОБИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

МОСКВА 2012

УДК 641.841.3

Авторский коллектив: канд. техн. наук *Д.М. Гордиенко*, д-р техн. наук, проф. *Ю.Н. Шебеко*, канд. техн. наук *А.Ю. Шебеко*, *Д.С. Кириллов*, *В.А. Трунева* – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГБУ ВНИИПО) МЧС России; *А.Н. Гилетич*, *П.М. Комков* – Департамент надзорной деятельности МЧС России.

Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2012. 242 с.

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

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

© ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 4
2. Порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска для производственных объектов 9
2.1. Анализ пожарной опасности объекта 9
2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций 15
2.3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития 17
2.4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития ... 23
2.5. Анализ влияния систем обеспечения пожарной безопасности зданий 24
2.6. Вычисление величин пожарного риска на объекте 25
3. Типовые примеры расчетов величин пожарного риска для производственных объектов 37
3.1. Пример расчета для производственного здания 37
3.2. Пример расчета для наружной установки 54
3.3. Пример расчета индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта 129
3.4. Пример расчета социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта 131
Приложение 1 134
Приложение 2 160
Приложение 3. Примеры логических деревьев событий и сведения, необходимые для их построения 170
Приложение 4. Методы оценки опасных факторов пожара 182
Приложение 5. Методы определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетного времени эвакуации 221
Приложение 6. Детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей 233
Литература 240

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 на основании Постановления Правительства Российской Федерации [2], которое устанавливает порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска в соответствии с Федеральным законом № 123 [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.

Положения методики [1] и настоящего Пособия не могут быть применены для объектов, запроектированных и построенных до вступления в силу ФЗ № 123 [3].

Расчеты пожарного риска при определении категорий наружных установок по пожарной опасности проводятся по методам, изложенным в СП 12.13130 [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[1] 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 ФЗ № 123 [3].

Ст. 93 ФЗ № 123 [3] установлены следующие нормативные значения пожарного риска для производственных объектов:

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

• 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;

---

[1] Федеральным законом от 10 июля 2012 г. № 117-ФЗ в Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» были внесены изменения, согласно которым понятие «селитебная зона» было заменено на «жилая зона, общественно-деловая зона или зона рекреационного назначения».

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

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

• для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной стомиллионной в год (т. е. 10^{-8} год$^{-1}$) и (или) величины социального пожарного риска одной десятимиллионной в год (т. е. 10^{-7} год$^{-1}$) невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной миллионной в год (т. е. 10^{-6} год$^{-1}$) и (или) социального пожарного риска до одной стотысячной в год (т. е. 10^{-5} год$^{-1}$) соответственно. При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите.

1.4. К производственным объектам, для которых в связи со спецификой функционирования технологических про-

цессов допускается увеличение индивидуального пожарного риска, рекомендуется относить:

- опасные производственные объекты в соответствии с ФЗ № 116 [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 – 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.

Ниже на основе положений Методики описана процедура и основные этапы проведения расчетов по оценке пожарного риска, а также приведены типовые примеры расчетов.

Для автоматизации расчетов по оценке пожарного риска может применяться различное программное обеспечение, которое должно обеспечивать возможность проверки достоверности выполненных с его использованием расчетов – их верификацию. Как правило, верификация выполняется более простыми методами, чем само компьютерное моделирование, например, с помощью сравнения результатов с оценочными «ручными» расчетами. Для этого рекомендуется использовать программное обеспечение с возможностью вывода промежуточных результатов расчетов в виде таблиц или графиков с зонами поражения опасными факторами пожара (взрыва), значениями условных вероятностей поражения, промежуточных значений потенциального пожарного риска, которые могли бы быть использованы для проверки правильности выполнения расчетов.

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 (диаметр, толщина стенок, расстояние до отсекающей арматуры);

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

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

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

Некоторые свойства и показатели пожарной опасности наиболее распространенных веществ и материалов приведены в прил. 1 к настоящему Пособию (данные представлены на основе работ [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 ее возникновения и развития, а также места 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, проводимых 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 его 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 и сооружениях (далее – здания) различного назначения, расположенных на территории объекта.

При определении перечня пожароопасных ситуаций для каждого из участков объекта следует рассматривать как события, связанные с выходом взрывоопасной, пожаровзрывоопасной и/или пожароопасной среды из технологического оборудования и/или тары в результате разгерметизации и появлением источника зажигания, так и события, связанные с появлением источника зажигания, способного инициировать горение постоянной и временной пожарной нагрузки, размещаемой на участке объекта (например, пожары твердых веществ и материалов).

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 для различных диаметров 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 то же 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, технологи-

ческие установки, здания и сооружения объекта, с другой стороны, по этому перечню должны быть проведены необходимые расчеты, учитывающие вариации различных параметров при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

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

Для каждого блока, участка, технологической установки, здания и сооружения объекта должны быть выделены типовые пожароопасные аварийные ситуации, которым соответствуют одинаковые модели возникновения и развития. При этом выбранные для расчетов типовые ситуации должны отражать специфику пожарной опасности всех участков объекта.

Исключение ситуаций с незначительным риском направлено на то, чтобы не рассматривать те из них, 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 они 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.

Также при определении частоты реализации пожароопасных ситуаций может учитываться иная информация, например, о воздействии соседних объектов, влиянии неблагоприятных природных явлений (землетрясения, проявления атмосферного электричества и т. п.) и т. д.

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

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

2.2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций является одним из наиболее важных этапов проведения расчетов по оценке пожарного риска, который

в значительной мере определяет достоверность полученных результатов расчета значений риска.

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

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

Также частоты реализации пожароопасных ситуаций и возникновения пожаров могут быть получены с использованием анализа деревьев неисправностей в соответствии со стандартом [14] и документом [15].

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 являю-

щиеся 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 горящей жидкости при пожаре в резервуаре.

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

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

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

Применение метода логических деревьев 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. 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 (далее – ветвь дерева событий).

При построении логических деревьев событий учитываются следующие положения:

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

- развитие пожароопасной ситуации и пожара должно рассматриваться постадийно с учетом места возникновения на объекте оценки риска, уровня потенциальной опасности каждой стадии и возможности 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:

- возможность предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара зависит от количества стадий и времени их протекания (т. е. от длины пути разви-

тия пожароопасной ситуации и пожара). Это обусловливается 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;

- наличие 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 прил. 3 к настоящему Пособию.

2.3.3. Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, представленных в прил. 4 и 5 к настоящему Пособию, являющихся развитием изложенных в ме-

тодике [1]. Эти методы основаны на положениях методики [1] с учетом расширения и конкретизации ее положений.

В прил. 4 и 5 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 от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетного времени эвакуации.

Кроме того, в прил. 4 и 5 приведены вспомогательные методы расчета:

- массового расхода горючей среды при аварии (жидкость, газ, двухфазная среда);

- интенсивности испарения жидкости из пролива;

- максимальных размеров взрывоопасных зон.

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

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

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев их 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 прил. 6 к настоящему Пособию.

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

2.5. Анализ влияния 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 прил. 3 к настоящему Пособию.

2.6. Вычисление величин пожарного риска на объекте

2.6.1. В соответствии с Методикой [1] расчет значений индивидуального пожарного риска 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 разд. 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

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

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 инициирующему аварию 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. При этом допускается учет изменения температуры окружающей среды в течение года.

Величина потенциального риска определяется посредством наложения зон поражения опасными факторами с учетом частоты реализации каждого сценария развития аварии на карту местности с привязкой их к соответствующему инициирующему аварию 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 потенциального риска. Их физический смысл состоит в том, что они разделяют территорию предприятия (так же, как и местность вокруг предприятия) на области, в которых ожидаемая частота возникновения опасных факторов аварий, приводящих к гибели людей, заключена в определенных пределах.

Контуры потенциального риска не зависят от количества работающих на предприятии людей или их должностных обязанностей, а определяются исключительно исполь-

зуемой технологией и надежностью применяемого оборудования, а также проектными решениями по размещению и компоновке технологического оборудования.

2.6.4. При необходимости 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, кроме теплового излучения огненного шара необходимо учитывать 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

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

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 или пожарного отсека здания (далее – здания) объекта определяется по формуле

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

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

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

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

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

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

$$P_{э.пij} = \begin{cases} \dfrac{0,8\tau_{блij} - t_{рij}}{\tau_{н.э}}, \text{ если } t_{рij} < 0,8\tau_{блij} < t_{рij} + \tau_{н.эij}, \\ 0,999, \text{ если } t_{рij} + \tau_{н.эij} \le 0,8\tau_{блij}, \\ 0,001, \text{ если } t_{рij} \ge 0,8\tau_{блij}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\tau_{блij}$ – 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_{pij} – 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 $P_{э.пij}$ определяется по формуле

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

2.6.11. Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них

опасных факторов пожара и расчетное время эвакуации определяются по методам, приведенным в прил. 5 к настоящему Пособию.

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

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

2.6.12. При определении величин потенциального риска для работников, которые находятся в здании на территории объекта, допускается рассматривать для здания в качестве расчетного один наиболее неблагоприятный сценарий возникновения пожара, характеризующийся максимальной условной вероятностью поражения человека. В этом случае расчетная частота возникновения пожара принимается равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании сценариев возникновения пожара.

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

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

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

$i = 1, \ldots, I.$

Работники объекта нумеруются

$m = 1, \ldots, M.$

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 при его нахождении на территории объекта определяется по формуле

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

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

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

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 и сооружении.

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

2.6.19. Вероятность q_{im} определяется исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории и/или в i-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 (далее – индивидуальный риск) принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия людей в зданиях и сооружениях вблизи производственного объекта:

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

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

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

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

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

$$N_i = \sum_{i=1}^{I} Q_{dij} n_i, \qquad (12)$$

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.

Индивидуальный и социальный пожарный риск для линейной части магистральных трубопроводов

2.6.23. Величина потенциального риска $P(r)$, год$^{-1}$, в определенной точке на расстоянии r от оси магистрального трубопровода определяется по формуле

$$P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{x_{1\,jk}}^{x_{2\,jk}} Q_{\text{пор}jk}(x, r)\, dx, \qquad (13)$$

где $\lambda_j(m)$ – удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для j-го типа разгерметиза-

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

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

Число рассматриваемых сценариев развития пожароопасной ситуации (пожара) при разгерметизации линейной части магистрального трубопровода, условные вероятности Q_{jk} и $Q_{\text{пор}jk}(x, r)$ определяются в зависимости от специфики

пожарной опасности магистрального трубопровода и транспортируемого вещества.

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

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи линейной части магистрального трубопровода, индивидуальный риск определяется в соответствии с пунктом 2.6.20 настоящего Пособия.

2.6.25. Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи линейной части магистрального трубопровода, социальный риск S, год$^{-1}$, определяется по формуле

$$S = \max\{S_1, S_2, ..., S_p, ..., S_Q\}, \qquad (14)$$

где S_1, S_2, S_p, S_Q – величины социального риска для различных потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода, год$^{-1}$, определяемые в соответствии с пп. 2.6.21 и 2.6.22 настоящего Пособия; Q – количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода.

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

3. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

3.1. Пример расчета для производственного здания

Рассматривается одноэтажная контроллерная управления технологическими процессами на производстве.

В рассматриваемом здании расположены:

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

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

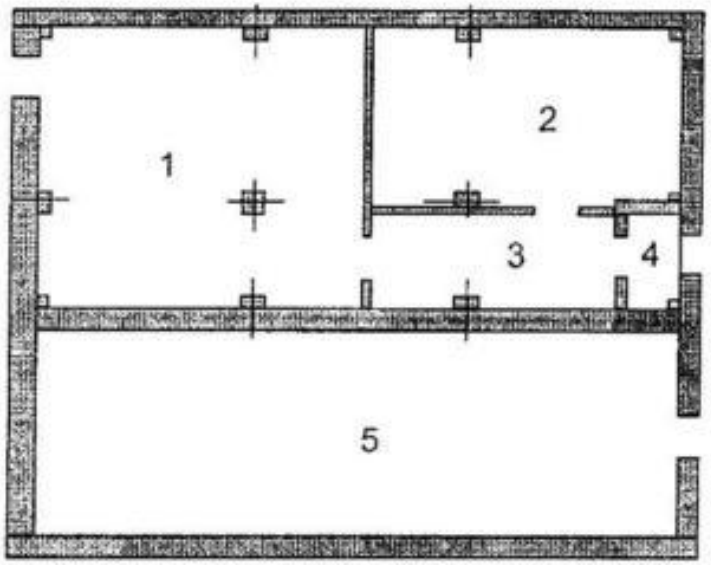


Рис. 3.1.1. План рассматриваемого здания: 1 – помещение контроллерной; 2 – помещение электрооборудования; 3 – коридор; 4 – тамбур; 5 – помещение трансформаторной

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 для сценариев проектного пожара № 1 и № 2 проводится с помощью зонной модели пожара в здании в соответствии с методикой [16], для сценария проектного пожара № 3 – с помощью интегральной модели пожара в здании в соответствии с [1].

3.1.1. Результаты определения потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании

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

распространения опасных факторов пожара блокируются опасными факторами пожара эвакуационные выходы из помещения.

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

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

- низшая теплота сгорания	20,9 МДж/кг
- линейная скорость пламени	0,0125 м/с
- удельная скорость выгорания	0,0076 кг/(м$^2 \cdot$ с)
- дымообразующая способность	327 Нп $\cdot$ м^2/кг
- потребление O_2	1,95 кг/кг
- коэффициент полноты сгорания	0,95
Выделение газа:	
- CO_2	0,375 кг/кг
- CO	0,0556 кг/кг
- HCl	0,0054 кг/кг

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

Расчетное время эвакуации из помещения контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1) составляет $t_{pij} = 0{,}1$ 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

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

Таблица 3.1.1

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

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	104
по пониженному содержанию кислорода	104
по X_{CO_2}	Не достигается в течение 1800 с
по X_{CO}	189
по X_{HCl}	301

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

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

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

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

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

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

Таблица 3.1.2

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

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	319
по пониженному содержанию кислорода	Не достигается в течение 1800 с
по X_{CO_2}	Не достигается в течение 1800 с
по X_{CO}	986
по X_{HCl}	1281

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 3.1.3

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

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

Расчетное время эвакуации из коридора (рис. 3.1.1, поз. 3) с учетом времени начала эвакуации $\tau_{н.эij}$ и расчетного времени эвакуации из помещения электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2) t_{pij} составляет $t_{pij} = 0{,}08$ мин $= 35$ с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет $P_{э.пij} = 0{,}999$, так как выполнено условие

$$t_{pij} + \tau_{н.эij} = 35 \text{ с} \le 0{,}8\tau_{блij} = 0{,}8 \cdot 164 = 131 \text{ с}.$$

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

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

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности

рассматриваемого помещения $D_{ij} = 0$. В результате условная вероятность поражения человека Q_{dij} в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара согласно формуле (4) составляет

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

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

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

Таблица 3.1.4

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

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

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

$$t_{pij} + \tau_{н.эij} = 36 \text{ с} \le 0{,}8\tau_{блij} = 0{,}8 \cdot 193 = 154 \text{ с}.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- низшая теплота сгорания 20,9 МДж/кг
- линейная скорость пламени 0,0125 м/с
- удельная скорость выгорания 0,00760 кг/(м^2 · с)
- дымообразующая способность 327 Нп · м^2/кг
- потребление O_2 1,95 кг/кг
- коэффициент полноты сгорания 0,95

Выделение газа:

- CO_2 0,375 кг/кг
- CO 0,0556 кг/кг
- HCl 0,0054 кг/кг

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

Таблица 3.1.5

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

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	347
по пониженному содержанию кислорода	Не достигается в течение 1800 с
по X_{CO_2}	Не достигается в течение 1800 с
по X_{CO}	964
по X_{HCl}	1313

Расчетное время эвакуации из помещения контроллерной (рис. 3.1.1, 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 эвакуаци-

онным путям составляет $P_{э.пij} = 0{,}999$, так как выполнено условие

$$t_{рij} + \tau_{н.эij} = 6 + 30 = 36 \text{ с} \le 0{,}8\tau_{блij} = 0{,}8 \cdot 347 = 278 \text{ с}.$$

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

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

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

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

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

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

Таблица 3.1.6

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

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

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

$$t_{pij} + \tau_{н.эij} = 3 \text{ с} \le 0{,}8\tau_{блij} = 0{,}8 \cdot 72 = 58 \text{ с}.$$

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

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

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

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

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

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

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

$$t_{pij} = 5 \text{ с} \le 0{,}8\tau_{блij} = 0{,}8 \cdot 114 = 91 \text{ с}.$$

Таблица 3.1.7

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

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	Не достигается в течение 1800 с
по потере видимости	164
по пониженному содержанию кислорода	272
по X_{CO_2}	Не достигается в течение 1800 с
по X_{CO}	254
по X_{HCl}	333

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

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

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

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

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

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

Таблица 3.1.8

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

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

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

$$t_{pij} = 6 \text{ с} \le 0{,}8\tau_{блij} = 0{,}8 \cdot 137 = 110 \text{ с}.$$

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

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

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

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

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

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

Сценарий № 3. Очаг пожара возникает в помещении трансформаторной (рис. 3.1.1, поз. 5). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (трансформаторное масло). Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая заполняет весь объем помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются эвакуационные выходы из помещения.

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

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

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

В соответствии с прил. 5 Пособия горение трансформаторного масла до момента завершения эвакуации людей из здания происходит с неустановившейся скоростью, так как температура кипения трансформаторного масла составляет $t_{кип} = 300$ °С [7].

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

- низшая теплота сгорания — 42,7 МДж/кг
- удельная скорость выгорания — 0,043 кг/(м$^2 \cdot$ с)

- дымообразующая способность 480 Нп · м^2/кг
- потребление O_2 1,59 кг/кг
- коэффициент полноты сгорания 0,95
- показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени 1,5

Выделение газа:

- CO_2 1,07 кг/кг
- CO 0,122 кг/кг

Ниже приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов из рассматриваемого помещения.

Таблица 3.1.9

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

Параметр	Значение
Высота, м	1,7
Время блокирования, с:	
по повышенной температуре	96
по потере видимости	48
по пониженному содержанию кислорода	114
по X_{CO_2}	Не достигается
по X_{CO}	Не достигается

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 3.1.10

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 (рис. 3.1.1, поз. 1)	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$	$2{,}57 \cdot 10^{-6}$
2		$9{,}7 \cdot 10^{-7}$	
1	Помещение электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$	$2{,}57 \cdot 10^{-6}$
2		$9{,}7 \cdot 10^{-7}$	
3	Помещение трансформаторной (рис. 3.1.1, поз. 5)	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$

3.1.2. Результаты определения индивидуального пожарного риска для рассматриваемого здания

Принимаем, что у каждого представителя той или иной профессии 200 рабочих дней в году. Принимаем, что в рассматриваемом здании работают представители сле-

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

- оператор – 8 ч в рабочий день = 1600 ч/год = 0,18;
- электрик – 0,5 ч в рабочий день = 100 ч/год = 0,011.

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

Таблица 3.1.11

Индивидуальный пожарный риск для работников в здании контроллерной

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год$^{-1}$	Итоговый индивидуальный риск, год$^{-1}$
Оператор	Помещение контроллерной (рис. 3.1.1, поз. 1)	0,16	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
	Помещение электрооборудования (рис. 3.1.1, поз. 2)	0,02	$0,05 \cdot 10^{-6}$	
Электрик	Помещение трансформаторной (рис. 3.1.1, поз. 5)	0,011	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$

3.1.3. Вывод об условиях соответствия рассматриваемого здания требованиям пожарной безопасности

Индивидуальный пожарный риск не превышает нормативное значение, так как выполняется условие $R_m^{\max} = 4,5 \cdot 10^{-7} \le R_m^{\text{н}} = 10^{-6}$ 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 10 000 м^3 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 м^2. Резервуарный парк предназначен для хранения бензина (АИ-93).

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

3.2.2. Перечень исходных данных и используемых справочных источников информации

Физико-химические свойства обращающихся в парке горючих веществ и материалов

Свойства бензина принимались согласно данным, приведенным в прил. 1 настоящего Пособия. При этом с опреде-

ленным запасом надежности свойства принимались по бензину АИ-93 (зимний): суммарная формула – $C_{6,911} \cdot H_{12,168}$; молярная масса – 95,3 кг/кмоль; температура вспышки – минус 37 °С; константы уравнения Антуана в диапазоне температур –60÷90 °С: $A = 4{,}26511$, $B = 695{,}019$, $C_A = 223{,}220$; 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 прил. 2 настоящего Пособия.

Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 25 мм:

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

Частота разгерметизации резервуара с диаметром отверстия истечения 100 мм:

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

Частота полного разрушения резервуара:

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

Частота возникновения пожара на дыхательной арматуре резервуара:

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

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:

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

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 25 мм:

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

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 50 мм:

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

Частота разгерметизации трубопровода с диаметром отверстия истечения 100 мм:

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

Частота разрыва трубопровода по полному сечению:

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

Условные вероятности мгновенного воспламенения и условные вероятности последующего воспламенения при отсутствии мгновенного, а также условные вероятности сгорания с избыточным давлением при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении в зависимости от типа утечки принимались по табл. П3.1 прил. 3 настоящего Пособия. При этом для утечек из резервуаров и трубопроводов, кроме случаев полного разрушения резервуаров и полного разрыва трубопроводов, указанные условные вероятности с определенным запасом надежности принимались равными максимальным соответствующим условным вероятностям, приведенным в табл. 3.1 настоящего Пособия. Также следует отметить, что в соответствии с положениями прил. 3 настоящего Пособия для бензина (ЛВЖ с температурой вспышки менее +28 °С) указанные выше условные вероятности принимались как для двухфазной среды.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$P_{\text{обр.изб.давл}} = 0{,}600.$

Данные по вероятности успешного срабатывания различных систем противоаварийной и противопожарной защиты

Защита резервуаров парка от нагрева, деформации и разрушения во время пожара осуществляется при помощи стационарных установок водяного орошения, в качестве

которых предусматриваются кольца орошения. Согласно прил. 3 условная вероятность эффективной работы систем водяного орошения резервуаров принимается равной $P_{ор} = 0{,}95$.

Данные по метеорологическим условиям в районе местонахождения объекта

В соответствии с п. 6 прил. 4 к настоящему Пособию расчетная температура принималась равной максимально возможной температуре в климатической зоне размещения объекта $t_0 = 37$ °С.

Район расположения объекта характеризуется равновероятной возможностью северного, восточного, южного и западного направлений ветра при его наличии.

При этом повторяемость ветра в различных диапазонах по скорости составляет:

- повторяемость ветра со скоростью не более 1 м/с (повторяемость штиля) $P_{штиля} = 0{,}12$;
- повторяемость ветра со скоростью выше 1 м/с и не более 10 м/с $P_{1–10\ м/с} = 0{,}72$ м/с;
- повторяемость ветра со скоростью выше 10 м/с и не более 20 м/с $P_{10–20\ м/с} = 0{,}15$ м/с;
- повторяемость ветра со скоростью более 20 м/с $P_{>20\ м/с} = 0{,}01$.

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 давление в них превышает расчетное, они теряют прочность и разрушаются или происходит их разгерметизация вследствие разрушения от пламени уплотняющих устройств;

- количество выходящего продукта и масштабы пожара увеличиваются со временем, что приводит к большому материальному ущербу и 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, если отсутствует мгновенное воспламенение, приводит к взрыву образовавшегося паровоздушного облака или его сгоранию в режиме пожара-вспышки. Последующее воспламенение при условии отсутствия мгновенного воспламенения и наличии ветра приводит к пожару пролива.

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

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

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

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

P_1 – условная вероятность мгновенного воспламенения:

$$P_1 = \begin{cases} P_{\text{мгн.воспл.утеч}}, \\ P_{\text{мгн.воспл.разр}}. \end{cases}$$

Здесь $P_{\text{мгн.воспл.утеч}}$ для утечек, кроме полного разрушения и полного разрыва; $P_{\text{мгн.воспл.разр}}$ для случаев полного разрушения или полного разрыва.

P_2 – условная вероятность безветрия (штиля):

$P_2 = P_{\text{штиля}}$.

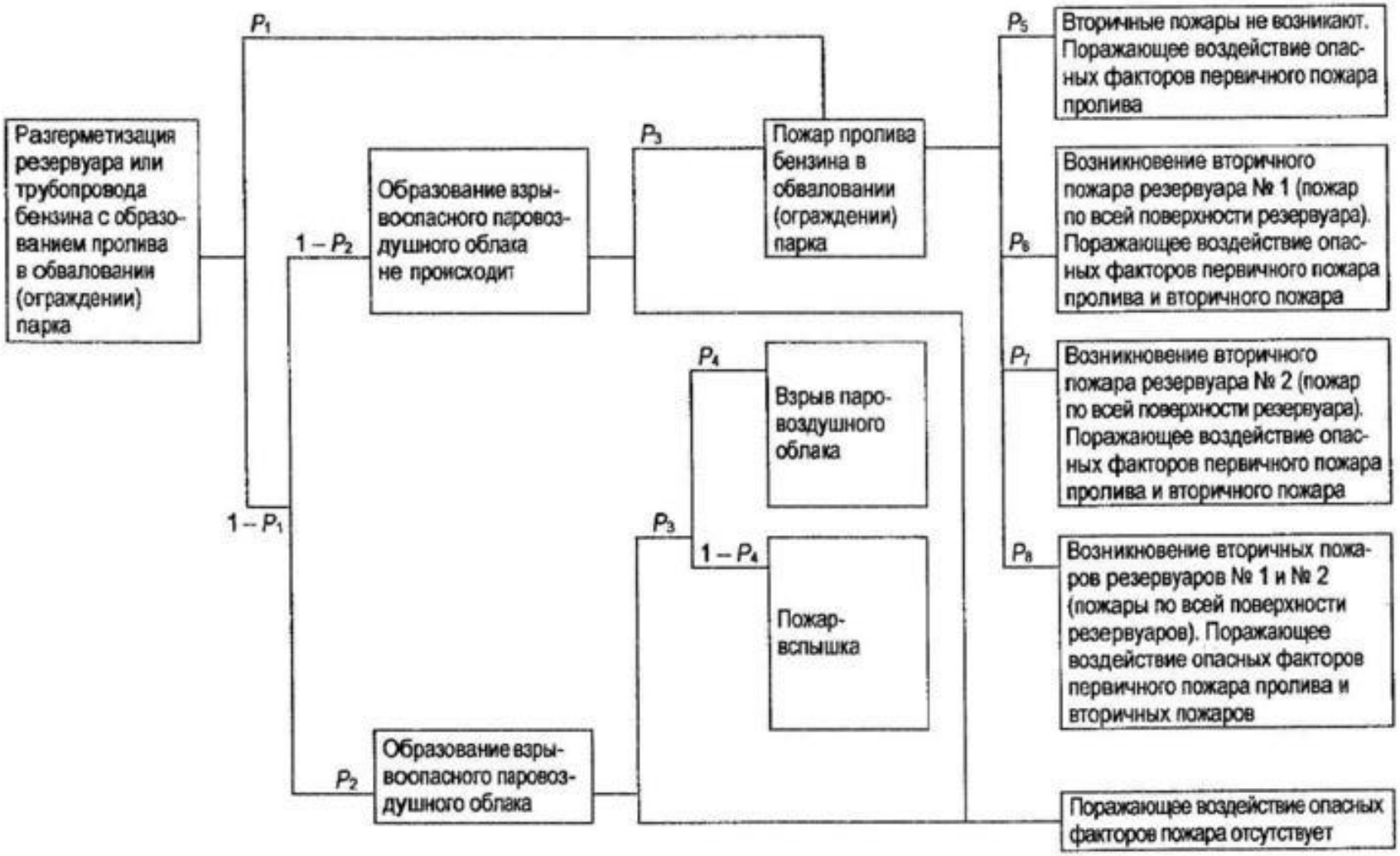


Рис. 3.2.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией резервуара или трубопровода рассматриваемого резервуарного парка

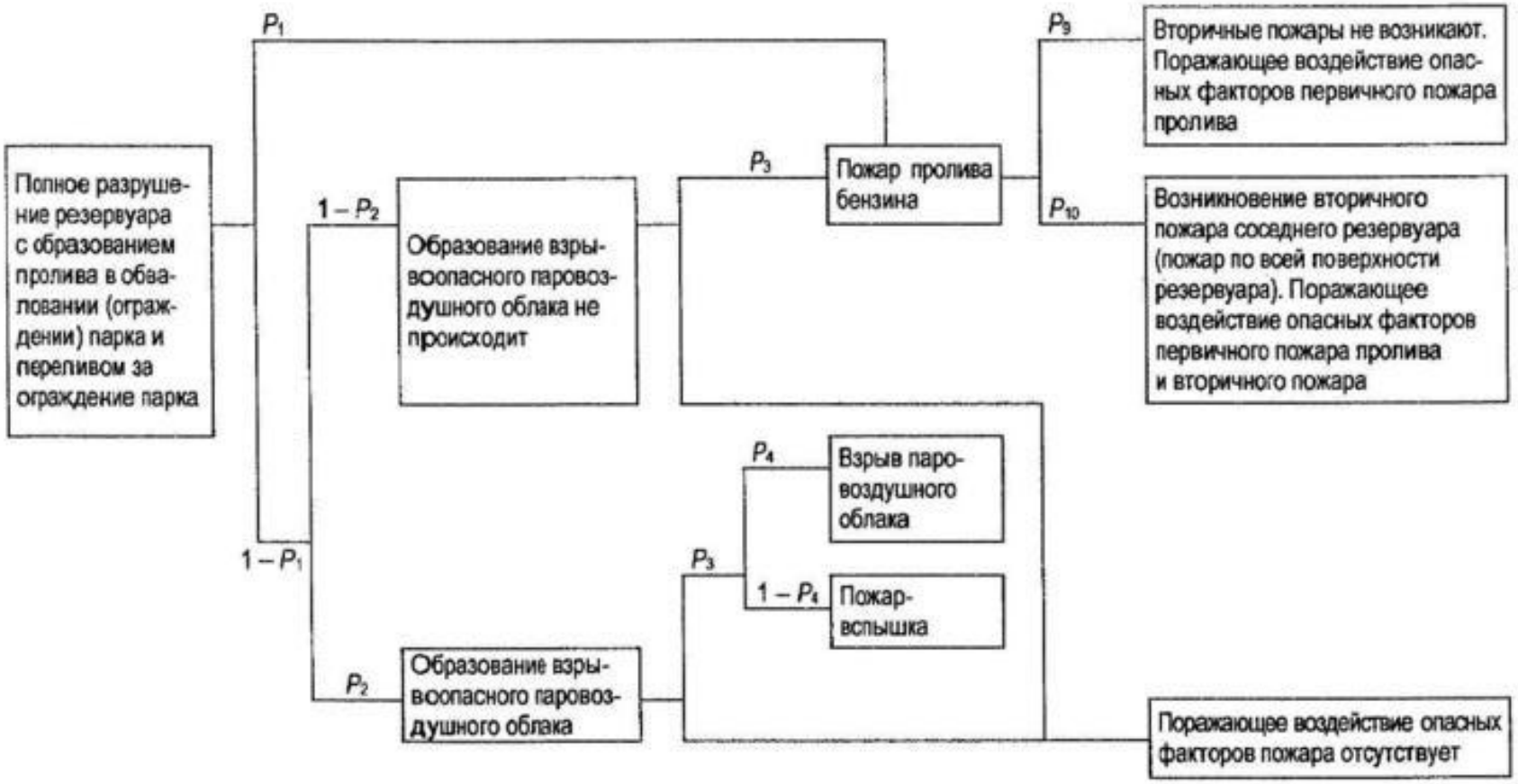


Рис. 3.2.2. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с полным разрушением одного из резервуаров рассматриваемого резервуарного парка



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

P_3 – условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения:

$$P_3 = \begin{cases} P_{\text{посл.воспл.утеч}}, \\ P_{\text{посл.воспл.разр}}. \end{cases}$$

Здесь $P_{\text{посл.воспл.утеч}}$ для утечек, кроме полного разрушения и полного разрыва; $P_{\text{посл.воспл.разр}}$ для случаев полного разрушения или полного разрыва.

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

$$P_4 = P_{\text{обр.изб.давл}}.$$

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

$$P_5 = P_{\text{ор}}P_{\text{ор}}.$$

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:

$P_6 = (1 - P_{ор})P_{ор}$.

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:

$P_7 = P_{ор}(1 - P_{ор})$.

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:

$P_8 = (1 - P_{ор})(1 - P_{ор})$.

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

$P_9 = P_{ор}$.

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

$P_{10} = 1 - P_{ор}$.

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

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

Продолжение табл. 3.2.1

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	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
	Возникновение пожара резервуара по всей поверхности	Пожар резервуара № 1 по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров	17

Продолжение табл. 3.2.1

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
		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

Продолжение табл. 3.2.1

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
	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 всей поверхности	34

Продолжение табл. 3.2.1

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

Продолжение табл. 3.2.1

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	44
		Взрыв паровоздушного облака	45
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	46
	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25 мм	Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка без возникновения вторичных пожаров	47
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 1 по всей поверхности	48
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичного пожара резервуара № 2 по всей поверхности	49
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	50
		Взрыв паровоздушного облака	51
		Сгорание паровоздушного облака в режиме пожара-вспышки	52

Продолжение табл. 3.2.1

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

Окончание табл. 3.2.1

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
		Пожар пролива бензина в обваловании (ограждении) парка с возникновением вторичных пожаров одновременно резервуаров № 1 и № 2 по всей поверхности	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).

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

Частота реализации сценария № 1:

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

Частота реализации сценария № 2:

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

Частота реализации сценария № 3:

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

Частота реализации сценария № 4:

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

Частота реализации сценария № 5:

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

Частота реализации сценария № 6:

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

Частота реализации сценария № 7:

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

Частота реализации сценария № 8:

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

Частота реализации сценария № 9:

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

Частота реализации сценария № 10:

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

Частота реализации сценария № 11:

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

Частота реализации сценария № 12:

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

Частота реализации сценария № 13:

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

Частота реализации сценария № 14:

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

Частота реализации сценария № 15:

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

Частота реализации сценария № 16:

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

Частота реализации сценария № 17:

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

Частота реализации сценария № 18:

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

Частота реализации сценария № 19:

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

Частота реализации сценария № 20:

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

Ниже приведены 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:

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

Частота реализации сценария № 22:

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

Частота реализации сценария № 23:

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

Частота реализации сценария № 24:

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

Частота реализации сценария № 25:

$Q_{25} = Q_5 = 9{,}5 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 26:

$Q_{26} = Q_6 = 6{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 27:

$Q_{27} = Q_7 = 3{,}1 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 28:

$Q_{28} = Q_8 = 1{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 29:

$Q_{29} = Q_9 = 1{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 30:

$Q_{30} = Q_{10} = 8{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 31:

$Q_{31} = Q_{11} = 1{,}3 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 32:

$Q_{32} = Q_{12} = 8{,}6 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 33:

$Q_{33} = Q_{13} = 1{,}8 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 34:

$Q_{34} = Q_{14} = 9{,}2 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 35:

$Q_{35} = Q_{15} = 6{,}9 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 36:

$Q_{36} = Q_{16} = 4{,}6 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 37:

$Q_{37} = Q_{17} = 8{,}6 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 38:

$Q_{38} = Q_{18} = 4{,}5 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 39:

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

Частота реализации сценария № 40:

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

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

Частота реализации сценария № 41:

$$Q_{41} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) P_{\text{ор}} P_{\text{ор}} = 3{,}1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0{,}150 +$$

$$+ (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}95 = 1{,}6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 42:

$$Q_{42} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор}}) P_{\text{ор}} = 3{,}1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (0{,}150 +$$

$$+ (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot 0{,}95 = 8{,}3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 43:

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

Частота реализации сценария № 44:

$$Q_{44} = Q_{\text{разгерм.труб.12,5 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$
$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор}}) (1 - P_{\text{ор}}) = 3{,}1 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \times$$
$$\times (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot (1 - 0{,}95) =$$
$$= 4{,}4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 45:

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

Частота реализации сценария № 46:

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

Частота реализации сценария № 47:

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

Частота реализации сценария № 48:

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

Частота реализации сценария № 49:

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

Частота реализации сценария № 50:

$$Q_{50} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор}}) (1 - P_{\text{ор}}) = 1{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \times$$

$$\times (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot (1 - 0{,}95) =$$

$$= 1{,}8 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 51:

$$Q_{51} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) P_{\text{штиля}} \times$$

$$\times P_{\text{посл.воспл.утеч}} P_{\text{обр.изб.давл}} = 1{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (1 - 0{,}150) \cdot 0{,}12 \times$$

$$\times 0{,}176 \cdot 0{,}600 = 2{,}8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 52:

$$Q_{52} = Q_{\text{разгерм.труб.25 мм}} L_{\text{труб}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) P_{\text{штиля}} \times$$

$$\times P_{\text{посл.воспл.утеч}} (1 - P_{\text{обр.изб.давл}}) = 1{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot (1 - 0{,}150) \times$$

$$0{,}12 \cdot 0{,}176 \cdot (1 - 0{,}600) = 1{,}9 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 53:

$$Q_{53} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) P_{\text{ор}} P_{\text{ор}} = 5{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot (0{,}150 +$$

$$+ (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}95 = 2{,}6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 54:

$$Q_{54} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор}}) P_{\text{ор}} = 5{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot (0{,}150 +$$

$$+ (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot 0{,}95 = 1{,}4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 55:

$$Q_{55} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) P_{\text{ор}} (1 - P_{\text{ор}}) = 5{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot (0{,}150 +$$

$$+ (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot 0{,}95 \cdot (1 - 0{,}95) = 1{,}4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 56:

$$Q_{56} = Q_{\text{разгерм.труб.50 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор}}) (1 - P_{\text{ор}}) = 5{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \times$$

$\times (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot (1 - 0{,}95) =$
$= 7{,}3 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$.

Частота реализации сценария № 57:

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

Частота реализации сценария № 58:

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

Частота реализации сценария № 59:

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

Частота реализации сценария № 60:

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

Частота реализации сценария № 61:

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

Частота реализации сценария № 62:

$$Q_{62} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.утеч}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) \times$$
$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.утеч}}) (1 - P_{\text{ор}}) (1 - P_{\text{ор}}) = 2{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \times$$
$$\times (0{,}150 + (1 - 0{,}150) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}176) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot (1 - 0{,}95) =$$
$$= 3{,}1 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 63:

$$Q_{63} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) P_{\text{штиля}} \times$$

$$\times P_{\text{посл.воспл.утеч}} P_{\text{обр.изб.давл}} = 2{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot (1 - 0{,}150) \cdot 0{,}12 \times$$

$$\times 0{,}176 \cdot 0{,}600 = 4{,}7 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 64:

$$Q_{64} = Q_{\text{разгерм.труб.100 мм}} L_{\text{труб}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.утеч}}) P_{\text{штиля}} \times$$

$$\times P_{\text{посл.воспл.утеч}} (1 - P_{\text{обр.изб.давл}}) = 2{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot (1 - 0{,}150) \times$$

$$\times 0{,}12 \cdot 0{,}176 \cdot (1 - 0{,}600) = 3{,}2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 65:

$$Q_{65} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.разр}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр}}) P_{\text{ор}} P_{\text{ор}} = 4{,}2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \cdot (0{,}200 +$$

$$+ (1 - 0{,}200) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}240) \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}95 = 2{,}8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 66:

$$Q_{66} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.разр}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр}}) (1 - P_{\text{ор}}) P_{\text{ор}} = 4{,}2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \cdot (0{,}200 +$$

$$+ (1 - 0{,}200) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}240) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot 0{,}95 = 1{,}5 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 67:

$$Q_{67} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.разр}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр}}) P_{\text{ор}} (1 - P_{\text{ор}}) = 4{,}2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \cdot (0{,}200 +$$

$$+ (1 - 0{,}200) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}240) \cdot 0{,}95 \cdot (1 - 0{,}95) = 1{,}5 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 68:

$$Q_{68} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб}} (P_{\text{мгн.воспл.разр}} + (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр}}) \times$$

$$\times (1 - P_{\text{штиля}}) P_{\text{посл.воспл.разр}}) (1 - P_{\text{ор}}) (1 - P_{\text{ор}}) = 4{,}2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \times$$

$$\times (0{,}200 + (1 - 0{,}200) \cdot (1 - 0{,}12) \cdot 0{,}240) \cdot (1 - 0{,}95) \cdot (1 - 0{,}95) =$$

$$= 7{,}7 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 69:

$$Q_{69} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр}}) P_{\text{штиля}} \times$$

$$\times P_{\text{посл.воспл.разр}} P_{\text{обр.изб.давл}} = 4{,}2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \cdot (1 - 0{,}200) \cdot 0{,}12 \times$$

$$\times 0{,}240 \cdot 0{,}600 = 1{,}2 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации сценария № 70:

$$Q_{70} = Q_{\text{разгерм.труб.разрыв}} L_{\text{труб}} (1 - P_{\text{мгн.воспл.разр}}) P_{\text{штиля}} \times$$

$$\times P_{\text{посл.воспл.разр}} (1 - P_{\text{обр.изб.давл}}) = 4{,}2 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \cdot (1 - 0{,}200) \times$$

$$\times 0{,}12 \cdot 0{,}240 \cdot (1 - 0{,}600) = 7{,}7 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

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

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в прил. 4 к настоящему Пособию.

При этом согласно п. 16 методики [1] для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров учитываются следующие опасные факторы пожара:

- 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 со-

ответствующем 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 м^2.

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 прил. 4 к настоящему Пособию следующим образом.

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

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

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

Значение параметра a/h_0 составляет 0,32.

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

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

считывалась по формуле (П4.27) прил. 4. Коэффициент разлития $f_р$ принимался равным 20 м$^{-1}$.

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

Обвалование (ограждение) парка имеет форму прямоугольника, периметр которого составляет $L_{перим} = 350$ 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).

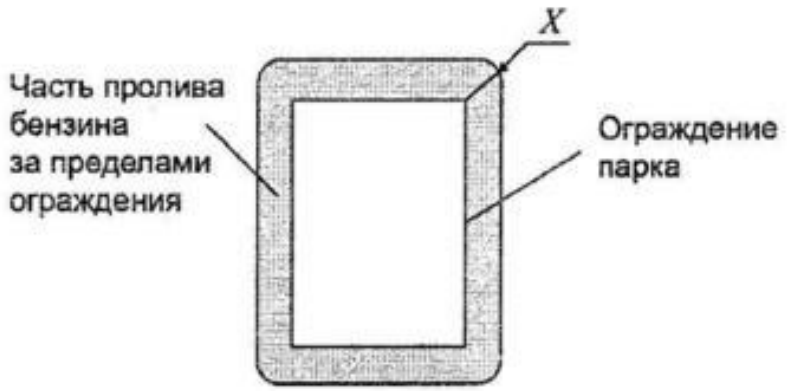


Рис. 3.2.4. Схема для определения формы пролива бензина за пределами обвалования ограждения парка

Ширина X, м, определяется уравнением

$$XL_{перим} + \pi X^2 = F_{ПРХ}.$$

Следовательно, ширина X составляет

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

3. При расчете количества испарившегося с поверхности пролива бензина для пожароопасных ситуаций, связанных с полным разрушением резервуара и переливом части

бензина через обвалование (ограждение) парка, площадь поверхности испарения принималась равной

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

4. Продолжительность испарения с поверхности пролива бензина для всех пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией резервуаров или трубопроводов парка, консервативно принималась $T = 3600$ с (п. 6 д прил. 4).

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

Давление насыщенного пара бензина при расчетной температуре составляет

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

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

Согласно п. 26 прил. 4 интенсивность испарения бензина определяется по формуле

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

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

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

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

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

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

Расчет интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров

Интенсивность теплового излучения пожаров для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с возникновением пожаров пролива бензина и пожаров резервуаров хранения бензина по всей поверхности, рассчитывалась по методу, приведенному в разд. VI прил. 4. Данный метод позволяет 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: 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 ($F_1 = 7000$ м^2), то есть при определении площади очага пожара площадь, занимаемая не участвующими в пожаре резервуарами, консервативно (оценка сверху площади очага) рассматривалась как часть площади очага пожара.

Для сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с пожарами пролива бензина в обваловании (ограждении) парка и пролива перелившегося через обвалование (ограждение) бензина как без возникновения вторичных пожаров, так и с возникновением вторичных пожаров при расчете интенсивности теплового излучения

пожаров площадь очага пожара (площадь пролива) F_2 консервативно (оценка сверху площади очага) принималась равной площади F_{R2}, то есть принималась равной $F_2 = 83\,000$ м^2.

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

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

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

Для демонстрации расчета интенсивности теплового излучения пожара, проведенного в соответствии с разд. VI прил. 4, ниже приведен расчет интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина площадью F_3 (пожар резервуара по всей поверхности) в точке, расположенной на расстоянии $r' = 20$ м от границы очага пожара, при ветре со скоростью $w_0 = 20$ м/с в направлении облучаемого объекта.

Эффективный диаметр пролива рассчитывается в соответствии с формулой (П4.58) прил. 4:

$$d = \sqrt{\frac{4F_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 918,6}{3,14}} = 34,2 \text{ м}.$$

Удельная массовая скорость выгорания бензина согласно табл. П4.4 прил. 4 принималась равной $m' = 0{,}06$ кг/(м$^2 \cdot$ с).

Плотность окружающего воздуха при расчетной температуре $\rho_a = 1{,}15$ кг/м^3, ускорение свободного падения $g = 9{,}81$ м/с^2. Плотность насыщенных паров топлива (бензина) при температуре кипения $\rho_п = 3{,}196$ кг/м^3.

Параметр u_*, определяемый в соответствии с формулой (П4.60) прил. 4, составляет

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\dfrac{m'gd}{\rho_п}}} = \frac{20}{\sqrt[3]{\dfrac{0{,}06 \cdot 9{,}81 \cdot 34{,}2}{3{,}196}}} = 10{,}83.$$

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

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

$$= 55 \cdot 34{,}2\left(\frac{0{,}06}{1{,}15\sqrt{9{,}81 \cdot 34{,}2}}\right)^{0{,}67} \cdot 10{,}83^{0{,}21} = 61{,}13 \text{ м}.$$

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра θ рассчитывается с помощью формулы (П4.61) прил. 4:

$$\cos\theta = u_*^{-0{,}5} = 10{,}83^{-0{,}5} = 0{,}304.$$

Следовательно, $\theta = \arccos(0{,}304) = 1{,}262$ рад.

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

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

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

$$a=\frac{2L}{d}=\frac{2\cdot 61,13}{34,2}=3,575;$$

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

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

$$=\sqrt{(3,575^2+(2,17+1)^2-2\cdot 3,575(2,17+1)\sin 1,262)}=1,112;$$

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

$$=\sqrt{(3,575^2+(2,17-1)^2-2\cdot 3,575(2,17-1)\sin 1,262)}=2,486;$$

$$C=\sqrt{(1+(b^2-1)\cos^2\theta)}=\sqrt{(1+(2,17^2-1)\cos^2 1,262)}=1,159;$$

$$D=\sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)}=\sqrt{\left(\frac{2,17-1}{2,17+1}\right)}=0,607;$$

$$E=\frac{a\cos\theta}{b-a\sin\theta}=\frac{3,575\cos 1,262}{2,17-3,575\sin 1,262}=-0,879;$$

$$F=\sqrt{(b^2-1)}=\sqrt{(2,17^2-1)}=1,925.$$

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

$$F_V=\frac{1}{\pi}\left\{-E\operatorname{arctg}D+E\left[\frac{a^2+(b+1)^2-2b(1+a\sin\theta)}{AB}\right]\times\right.$$

$$\left.\times\operatorname{arctg}\left(\frac{AD}{B}\right)+\frac{\cos\theta}{C}\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{ab-F^2\sin\theta}{FC}\right)+\operatorname{arctg}\left(\frac{F^2\sin\theta}{FC}\right)\right]\right\}=$$

$$=\frac{1}{3,14}\left\{-(-0,879)\operatorname{arctg}0,607+(-0,879)\times\right.$$

$$\times\left[\frac{3{,}575^2+(2{,}17+1)^2-2\cdot 2{,}17(1+3{,}575\sin 1{,}262)}{1{,}112\cdot 2{,}486}\right]\times$$

$$\times\operatorname{arctg}\left(\frac{1{,}112\cdot 0{,}607}{2{,}486}\right)+\frac{\cos 1{,}262}{1{,}159}\times$$

$$\times\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{3{,}575\cdot 2{,}17-1{,}925^2\sin 1{,}262}{1{,}925\cdot 1{,}159}\right)+\right.$$

$$\left.+\operatorname{arctg}\left(\frac{1{,}925^2\sin 1{,}262}{1{,}925\cdot 1{,}159}\right)\right]\Bigg\}=0{,}228.$$

Значение фактора облученности для горизонтальной площадки F_H, определяемое формулой (П4.56) прил. 4, составляет

$$F_H=\frac{1}{\pi}\left\{\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{D}\right)+\frac{\sin\theta}{C}\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{ab-F^2\sin\theta}{FC}\right)+\right.\right.$$

$$\left.+\operatorname{arctg}\left(\frac{F^2\sin\theta}{FC}\right)\right]-\left[\frac{a^2+(b+1)^2-2(b+1+ab\sin\theta)}{AB}\right]\times$$

$$\left.\times\operatorname{arctg}\left(\frac{AD}{B}\right)\right\}=\frac{1}{3{,}14}\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{0{,}607}\right)+\frac{\sin 1{,}262}{1{,}159}\times$$

$$\times\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{3{,}575\cdot 2{,}17-1{,}925^2\sin 1{,}262}{1{,}925\cdot 1{,}159}\right)+\operatorname{arctg}\left(\frac{1{,}925^2\sin 1{,}262}{1{,}925\cdot 1{,}159}\right)\right]-$$

$$-\left[\frac{3{,}575^2+(2{,}17+1)^2-2(2{,}17+1+3{,}575\cdot 2{,}17\sin 1{,}262)}{1{,}112\cdot 2{,}486}\right]\times$$

$$\times\operatorname{arctg}\left(\frac{1{,}112\cdot 0{,}607}{2{,}486}\right)\Bigg\}=0{,}822.$$

Угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле (П4.54) прил. 4:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,228^2 + 0,822^2} = 0,853.$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ определяется по формуле (П4.62) прил. 4:

$$\tau = \exp\left[-7 \cdot 10^{-4}\left(X - 0,5d\right)\right] =$$

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

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени E_f принимается в соответствии с табл. П4.4 прил. 4. Для рассматриваемого случая (диаметр пролива (очага пожара) – 34,2 м) E_f находится методом линейной интерполяции приведенных в указанной таблице значений для диаметров очага 30 и 40 м и составляет $E_f = 32,06$ 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, при ветре со скоростью 20 м/с в направлении облучаемого объекта согласно формуле (П4.52) составляет

$$q = E_f F_q \tau = 32,06 \cdot 0,853 \cdot 0,986 = 26,96 \text{ кВт/м}^2.$$

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 в случае штиля и при скорости ветра в направлении облучаемого объекта 10, 20, 30 м/с приведены на рис. 3.2.5–3.2.8 соответственно.

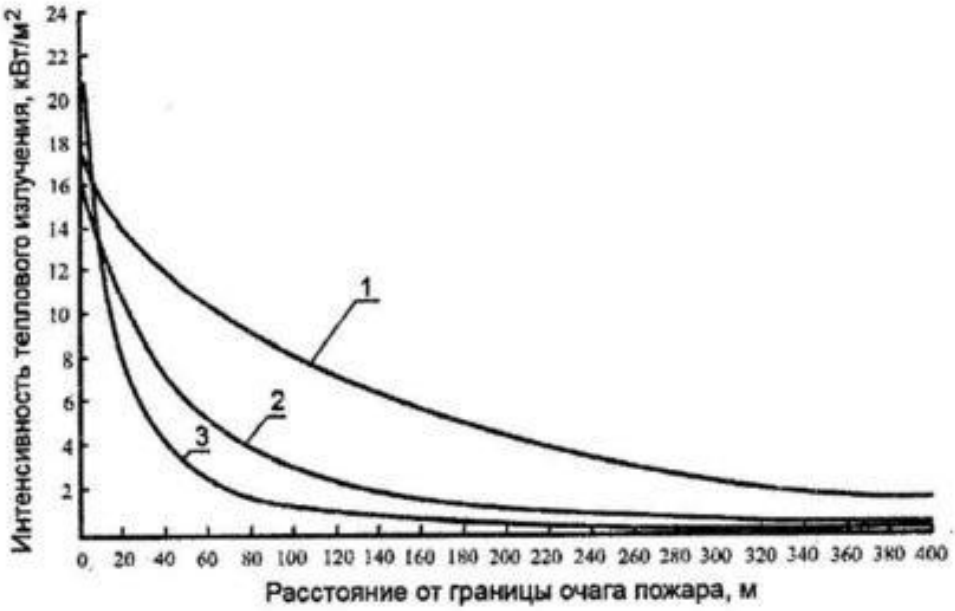


Рис. 3.2.5. Зависимости интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина от расстояния до очага пожара в условиях штиля при площади очага:

1 – F_2; 2 – F_1; 3 – F_3

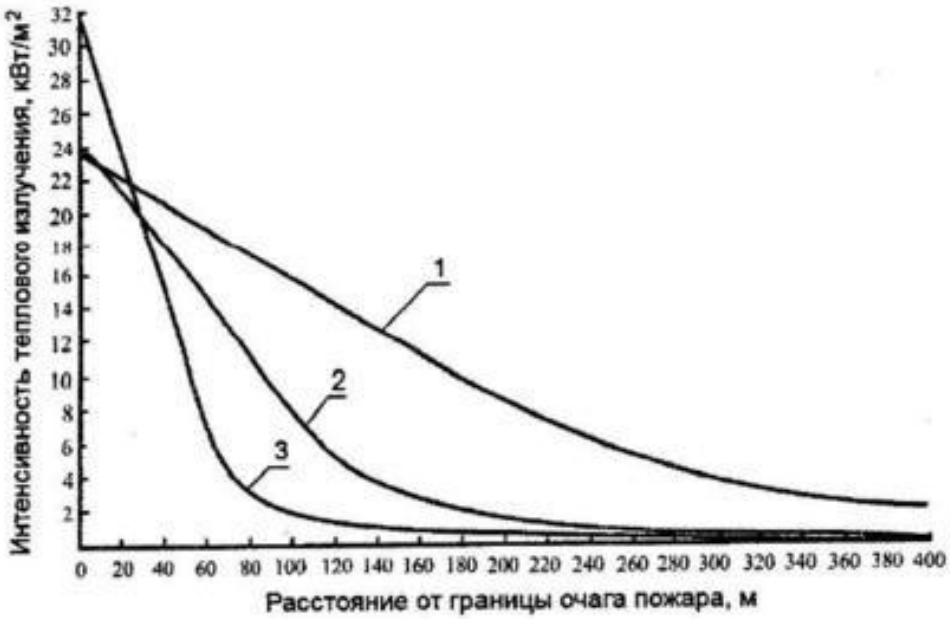


Рис. 3.2.6. Зависимости интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина от расстояния до очага пожара при скорости ветра в направлении облучаемого объекта 10 м/с при площади очага:

1 – F_2; 2 – F_1; 3 – F_3

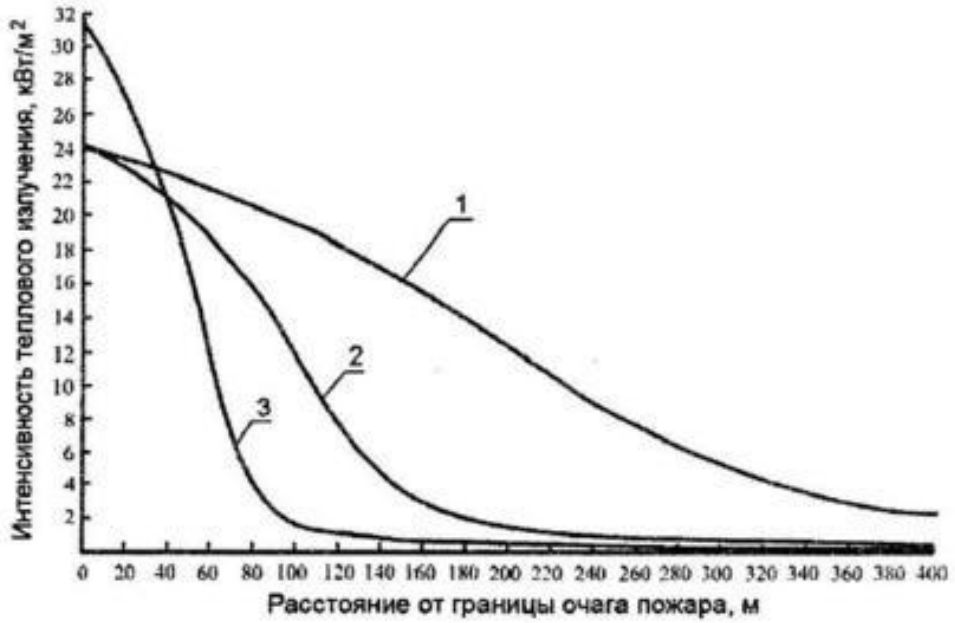


Рис. 3.2.7. Зависимости интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина от расстояния до очага пожара при скорости ветра в направлении облучаемого объекта 20 м/с при площади очага:

$1-F_2$; $2-F_1$; $3-F_3$

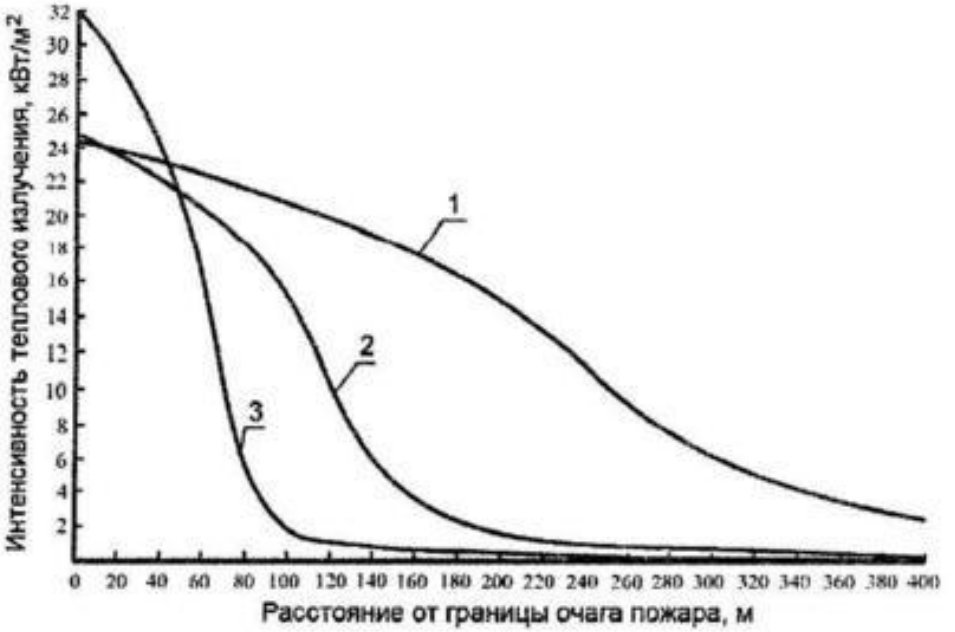


Рис. 3.2.8. Зависимости интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина от расстояния до очага пожара при скорости ветра в направлении облучаемого объекта 30 м/с при площади очага:

$1-F_2$; $2-F_1$; $3-F_3$

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 пролив в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, производился в соответствии с разд. III прил. 4.

Плотность паров бензина $\rho_п$ при расчетной температуре определялась по формуле (П4.29) прил. 4 и составляет

$$\rho_п = \frac{M}{22,413(1+0,00367t_0)} = \frac{95,3}{22,413(1+0,00367\cdot 37)} =$$

$= 3,744$ 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):

$$R_{1НКПР} = 7,8\left(\frac{M_1}{\rho_п C_{НКПР}}\right)^{0,33} = 7,8\left(\frac{9677}{3,744\cdot 1,1}\right)^{0,33} = 101 \text{ м};$$

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

$$R_{2НКПР} = 7,8\left(\frac{M_2}{\rho_п C_{НКПР}}\right)^{0,33} = 7,8\left(\frac{114\,700}{3,744\cdot 1,1}\right)^{0,33} = 228,5 \text{ м}.$$

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака

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

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

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

По классификации веществ, способных к образованию горючих смесей с воздухом, бензин в соответствии с табл. П4.1 прил. 4 относится к классу 3. Характер загромо-

женности окружающего пространства для резервуарного парка в соответствии с п. 15 прил. 4 соответствует классу III. Таким образом, согласно табл. П4.3 прил. 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) прил. 4 и составляет

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

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

Обвалование (ограждение) парка имеет прямоугольную форму (62 × 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 табл. П4.2 прил. 4 для бензина равен $\beta = 1$. Удельное энерговыделение $E_{уд}$, определяемое в соответствии с п. 14 прил. 4, составляет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$P_{x1} = \left(\frac{U^2}{C_0^2}\right)\left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right)\left(\frac{0{,}83}{R_x} - \frac{0{,}14}{R_x^2}\right) =$$

$$= \left(\frac{200^2}{340^2}\right)\left(\frac{7-1}{7}\right)\left(\frac{0{,}83}{1{,}136} - \frac{0{,}14}{1{,}136^2}\right) = 0{,}185.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= 1435 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

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

График зависимости избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка (масса паров $M_1 = 9677$ кг), приведен на рис. 3.2.9.

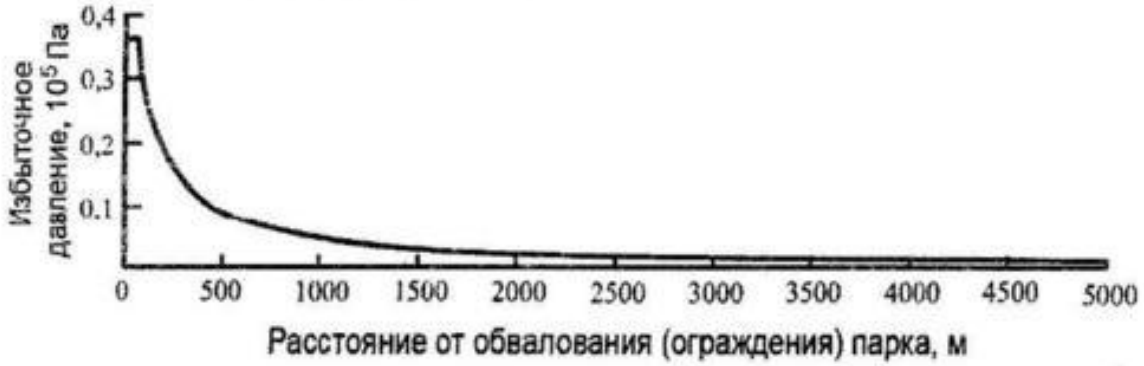


Рис. 3.2.9. Зависимость избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 9677 кг)

График зависимости избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося при испарении с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обва-

лование (ограждение) парка (масса паров M_2 = 114 700 кг), приведен на рис. 3.2.10.

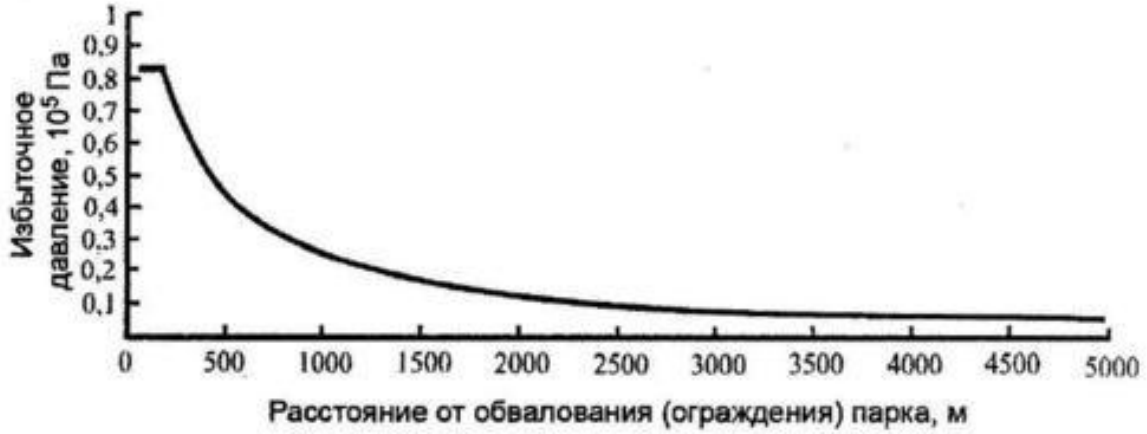


Рис. 3.2.10. Зависимость избыточного давления в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 114 700 кг)

График зависимости импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения с поверхности пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка (масса паров M_1 = 9677 кг), приведен на рис. 3.2.11.

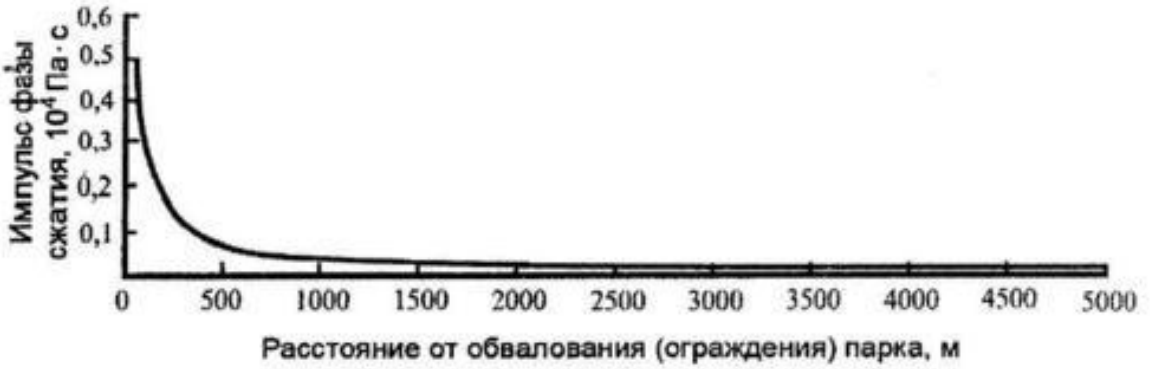


Рис. 3.2.11. Зависимость импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 9677 кг)

График зависимости импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося при

испарении с поверхности пролива в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка (масса паров $M_2 = 114\,700$ кг), приведен на рис. 3.2.12.

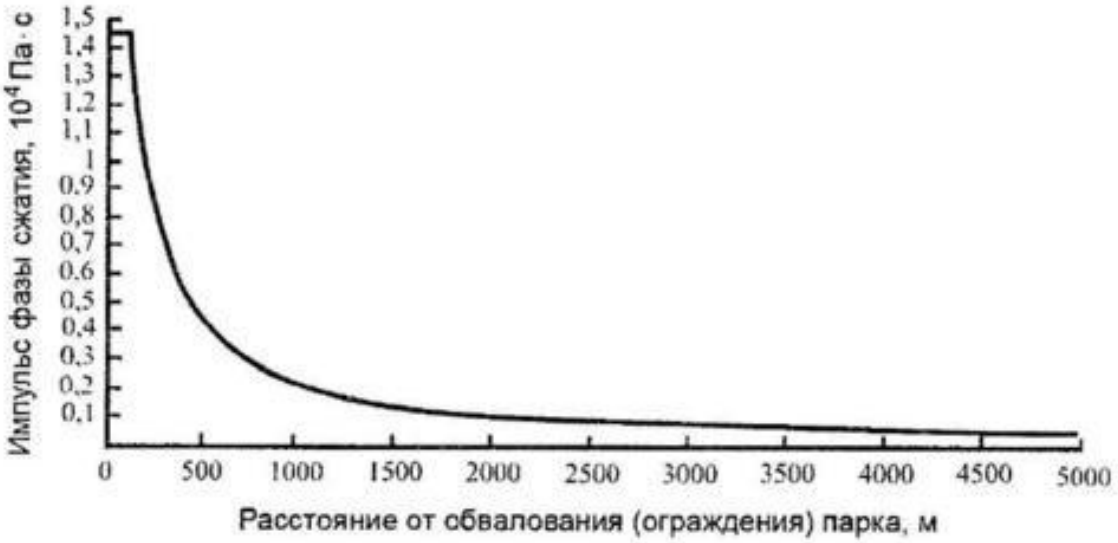


Рис. 3.2.12. Зависимость импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка (масса паров 114 700 кг)

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

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

1. $q^1_{\text{штиль}}(r)$, $q^1_{10\text{ м/с}}(r)$, $q^1_{20\text{ м/с}}(r)$, $q^1_{30\text{ м/с}}(r)$ (рис. 3.2.5–3.2.8, кривая 2) – зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива) $F_1 = 7000$ м^2, для условий штиля ($q^1_{\text{штиль}}(r)$), ветра в направлении облучаемого объекта со скоростью 10 м/с ($q^1_{10\text{ м/с}}(r)$), 20 м/с

($q^1_{20\text{ м/с}}(r)$) и 30 м/с ($q^1_{30\text{ м/с}}(r)$): 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.

2. $q^2_{\text{штиль}}(r)$, $q^2_{10\text{ м/с}}(r)$, $q^2_{20\text{ м/с}}(r)$, $q^2_{30\text{ м/с}}(r)$ (рис. 3.2.5–3.2.8, кривая 1) – зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива) $F_2 = 83\,000$ м^2, для условий штиля ($q^2_{\text{штиль}}(r)$), ветра в направлении облучаемого объекта со скоростью 10 м/с ($q^2_{10\text{ м/с}}(r)$), 20 м/с ($q^2_{20\text{ м/с}}(r)$) и 30 м/с ($q^2_{30\text{ м/с}}(r)$): пожар 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.

3. $q^3_{\text{штиль}}(r)$, $q^3_{10\text{ м/с}}(r)$, $q^3_{20\text{ м/с}}(r)$, $q^3_{30\text{ м/с}}(r)$ (рис. 3.2.5–3.2.8, кривая 3) – зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров, характеризующихся площадью очага $F_3 = 918$ м^2, для условий штиля ($q^3_{\text{штиль}}(r)$), ветра в направлении облучаемого объекта со скоростью 10 м/с ($q^3_{10\text{ м/с}}(r)$), 20 м/с ($q^3_{20\text{ м/с}}(r)$) и 30 м/с ($q^3_{30\text{ м/с}}(r)$), связанных с возникновением пожаров одного резервуара по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров.

4. $R_{1НКПР} = 101$ м – отсчитываемый от границы пролива горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения $F_{R1} = F_1 = 7000$ м^2) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка).

5. $R_{2НКПР} = 228{,}5$ м – отсчитываемый от границы пролива горизонтальный размер взрывоопасной зоны, образующейся в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83\,000$ м^2) в результате полного разрушения резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка.

6. $\Delta P_1(r)$ и $I_1^+(r)$ (рис. 3.2.9 и 3.2.11) – зависимости избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления при взрыве паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения $F_{R1} = F_1 = 7000$ м^2) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения парка), от расстояния до обвалования (ограждения) парка.

7. $\Delta P_2(r)$ и $I_2^+(r)$ (рис. 3.2.10 и 3.2.12) – зависимости избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления при взрыве паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83\,000$ 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 определяются следующие условные вероятности поражения людей.

1. Q_{dI1}, Q_{dI2}, Q_{dI3}, Q_{dI4} – условные вероятности поражения человека опасными факторами пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива) $F_1 = 7000$ м^2: 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 этом Q_{dI1} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; Q_{dI2} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; Q_{dI3} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; Q_{dI4} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра.

Частота реализации указанных пожаров (сценарии развития пожароопасных ситуаций и пожаров № 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 (см. табл. 3.2.1)) без дополнительных условий по скорости и направлению ветра составляет

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

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{11} = Q_1(P_{\text{штиля}} + (1 - P_{\text{штиля}})(270°/360°)) =$$
$$= 1{,}0 \cdot 10^{-4}(0{,}12 + (1 - 0{,}12) \cdot 3/4) = 7{,}8 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{12} = Q_1 P_{1-10\text{ м/с}}(90°/360°) = 1{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}72 \cdot 1/4 =$$
$$= 1{,}8 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{13} = Q_1 P_{10-20\text{ м/с}}(90°/360°) = 1{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}15 \cdot 1/4 =$$
$$= 3{,}8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{14} = Q_1 P_{>20\text{ м/с}}(90°/360°) = 1{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}01 \cdot 1/4 =$$
$$= 2{,}5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

2. $Q_{дп1}$, $Q_{дп2}$, $Q_{дп3}$, $Q_{дп4}$ – условные вероятности поражения человека опасными факторами пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива) $F_2 = 83\,000$ м^2: пожар 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. При этом $Q_{дп1}$ – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; $Q_{дп2}$ – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; $Q_{дп3}$ – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; $Q_{дп4}$ – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра.

Частота реализации указанных пожаров (сценарии развития пожароопасных ситуаций и пожаров № 13, 14, 33, 34 (см. табл. 3.2.1)) без дополнительных условий по скорости и направлению ветра составляет

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

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения чело-

века вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{II1} = Q_{II}(P_{\text{штиля}} + (1 - P_{\text{штиля}})(270°/360°)) =$$
$$= 3{,}7 \cdot 10^{-6}(0{,}12 + (1 - 0{,}12) \cdot 3/4) = 2{,}9 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{II2} = Q_{II} P_{1\text{–}10 \text{ м/с}}(90°/360°) = 3{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}72 \cdot 1/4 =$$
$$= 6{,}7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{II3} = Q_{II} P_{10\text{–}20 \text{ м/с}}(90°/360°) = 3{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}15 \cdot 1/4 =$$
$$= 1{,}4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{II4} = Q_{II} P_{>20 \text{ м/с}}(90°/360°) = 3{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}01 \cdot 1/4 =$$
$$= 9{,}3 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

3. Q_{dIII1}, Q_{dIII2}, Q_{dIII3}, Q_{dIII4} – условные вероятности поражения человека опасными факторами пожаров, связанными с возникновением пожара резервуара № 1 по всей поверхности (площадь очага $F_3 = 918$ м^2) без возникновения вторичных пожаров. При этом Q_{dIII1} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной

в центре очага пожара в направлении ветра; $Q_{дIII2}$ – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; $Q_{дIII3}$ – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; $Q_{дIII4}$ – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра.

Частота реализации указанных пожаров (сценарии развития пожароопасных ситуаций и пожаров № 17, 19 (см. табл. 3.2.1)) без дополнительных условий по скорости и направлению ветра составляет

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

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{III1} = Q_{III}(P_{\text{штиля}} + (1 - P_{\text{штиля}})(270°/360°)) =$$
$$= 1{,}7 \cdot 10^{-4}(0{,}12 + (1 - 0{,}12) \cdot 3/4) = 1{,}3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{III2} = Q_{III} P_{1-10 \text{ м/с}}(90°/360°) = 1{,}7 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}72 \cdot 1/4 =$$
$$= 3{,}1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{III3} = Q_{III} P_{10-20\ м/с}(90°/360°) = 1{,}7 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}15 \cdot 1/4 = 6{,}4 \cdot 10^{-6}\ год^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{III4} = Q_{III} P_{>20\ м/с}(90°/360°) = 1{,}7 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}01 \cdot 1/4 = 4{,}3 \cdot 10^{-7}\ год^{-1}.$$

4. Q_{dIV1}, Q_{dIV2}, Q_{dIV3}, Q_{dIV4} – условные вероятности поражения человека опасными факторами пожаров, связанными с возникновением пожара резервуара № 2 по всей поверхности (площадь очага $F_3 = 918\ м^2$) без возникновения вторичных пожаров. При этом Q_{dIV1} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; Q_{dIV2} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; Q_{dIV3} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра; Q_{dIV4} – условная вероятность поражения человека при реализации указанных пожаров в условиях ветра со скоростью более

20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра.

Частота реализации указанных пожаров (сценарии развития пожароопасных ситуаций и пожаров № 37, 39 (см. табл. 3.2.1)) без дополнительных условий по скорости и направлению ветра составляет

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

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{IV1} = Q_{IV}(P_{\text{штиля}} + (1 - P_{\text{штиля}})(270°/360°)) =$$
$$= 1{,}7 \cdot 10^{-4}(0{,}12 + (1 - 0{,}12) \cdot 3/4) = 1{,}3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{IV2} = Q_{IV} P_{1\text{–}10 \text{ м/с}}(90°/360°) = 1{,}7 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}72 \cdot 1/4 =$$
$$= 3{,}1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{IV3} = Q_{IV} P_{10\text{–}20 \text{ м/с}}(90°/360°) = 1{,}7 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}15 \cdot 1/4 =$$
$$= 6{,}4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Частота реализации указанных пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра составляет

$$Q_{IV4} = Q_{IV} P_{>20 \text{ м/с}}(90°/360°) = 1{,}7 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}01 \cdot 1/4 =$$
$$= 4{,}3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

5. Q_{dV} – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными со сгоранием в режиме пожара-вспышки паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения $F_{R1} = F_1 = 7000$ м^2) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка.

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

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет

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

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

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

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет

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

7. Q_{dVII} – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными со взрывом паровоздушного облака, образующегося в результате испаре-

ния с поверхности (площадь поверхности испарения $F_{R1} = F_1 = = 7000$ 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. табл. 3.2.1) № 5, 11, 25, 31, 45, 51, 57, 63, 69.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет

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

8. Q_{dVIII} – условная вероятность поражения человека опасными факторами пожаров, связанными со взрывом паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83\,000$ 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. табл. 3.2.1) № 15, 35.

Суммарная частота реализации указанных сценариев составляет

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

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

Определим условные вероятности поражения человека для сценариев, связанных с возникновением пожаров про-

ливов и пожаров резервуаров по всей поверхности (условные вероятности поражения Q_{dI1}, Q_{dI2}, Q_{dI3}, Q_{dI4}, Q_{dII1}, Q_{dII2}, Q_{dII3}, Q_{dII4}, Q_{dIII1}, Q_{dIII2}, Q_{dIII3}, Q_{dIII4}, Q_{dIV1}, Q_{dIV2}, Q_{dIV3}, Q_{dIV4}).

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

Таким образом, для 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, условные вероятности поражения человека (Q_{dI1}, Q_{dI2}, Q_{dI3}, Q_{dI4}) в зоне, ограниченной обвалованием (ограждением) парка, принимались равными 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 условные вероятности поражения человека (Q_{dII1}, Q_{dII2}, Q_{dII3}, Q_{dII4}) в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной $X = 109{,}5$ м принимались равными 1.

Для пожаров, связанных с горением одного резервуара по всей поверхности без возникновения вторичных пожаров, условные вероятности поражения человека (Q_{dIII1}, Q_{dIII2}, Q_{dIII3}, Q_{dIII4} или Q_{dIV1}, Q_{dIV2}, Q_{dIV3}, Q_{dIV4}) в пределах пло-

щади, занимаемой резервуаром, на котором реализуется пожар, принимались равными 1.

Условные вероятности поражения человека Q_{dI1}, Q_{dI2}, Q_{dI3}, Q_{dI4}, Q_{dII1}, Q_{dII2}, Q_{dII3}, Q_{dII4}, Q_{dIII1}, Q_{dIII2}, Q_{dIII3}, Q_{dIII4}, Q_{dIV1}, Q_{dIV2}, Q_{dIV3}, Q_{dIV4} за пределами соответствующих им очагов пожаров определялись с использованием пробит-функции (формула (П6.11) прил. 6).

При этом условные вероятности из числа указанных, соответствующие событиям, связанным с реализацией пожаров в условиях штиля либо в условиях ветра для случаев нахождения человека вне пределов сектора 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра, согласно п. 23 прил. 4 оценивались на основе полученных для случая $\theta = 0$ зависимостей интенсивности теплового излучения от расстояния до очага пожара соответствующей площадью ($q^1_{\text{штиль}}(r)$, $q^2_{\text{штиль}}(r)$, $q^3_{\text{штиль}}(r)$).

Условные вероятности поражения, соответствующие событиям, связанным с реализацией пожаров в условиях ветра со скоростью от 1 до 10 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра, с определенным запасом надежности оценивались на основе зависимостей интенсивности теплового излучения от расстояния до очага пожара соответствующей площадью ($q^1_{10\text{ м/с}}(r)$, $q^2_{10\text{ м/с}}(r)$, $q^3_{10\text{ м/с}}(r)$) для верхней границы указанного диапазона скорости ветра.

Условные вероятности поражения, соответствующие событиям, связанным с реализацией пожаров в условиях ветра со скоростью от 10 до 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра, с определенным запасом надежности оце-

нивались на основе зависимостей интенсивности теплового излучения от расстояния до очага пожара соответствующей площадью ($q^1_{20\ м/с}(r)$, $q^2_{20\ м/с}(r)$, $q^3_{20\ м/с}(r)$) для верхней границы указанного диапазона скорости ветра.

Условные вероятности поражения, соответствующие событиям, связанным с реализацией пожаров в условиях ветра со скоростью более 20 м/с при нахождении человека в секторе 90° с вершиной в центре очага пожара в направлении ветра, оценивались на основе зависимостей интенсивности теплового излучения от расстояния до очага пожара соответствующей площадью ($q^1_{30\ м/с}(r)$, $q^2_{30\ м/с}(r)$, $q^3_{30\ м/с}(r)$) для скорости ветра 30 м/с (данное значение скорости ветра выбрано на основе экспертной оценки).

В качестве примера для демонстрации расчета условной вероятности поражения тепловым излучением пожара с использованием пробит-функции, проведенного в соответствии с прил. 6, ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива бензина площадью F_3 (пожар резервуара по всей поверхности) в условиях штиля 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/м^2.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения пожара равна 4 кВт/м^2, составляет $x = 19{,}9$ м.

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

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

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

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

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_{dI1}, Q_{dI2}, Q_{dI3}, Q_{dI4}, Q_{dII1}, Q_{dII2}, Q_{dII3}, Q_{dII4}, Q_{dIII1}, Q_{dIII2}, Q_{dIII3}, Q_{dIII4}, Q_{dIV1}, Q_{dIV2}, Q_{dIV3}, Q_{dIV4} на различных расстояниях от границ соответствующих очагов пожара. Графики полученных зависимостей условных вероятностей Q_{dI1}, Q_{dI2}, Q_{dI3}, Q_{dI4}, Q_{dII1}, Q_{dII2}, Q_{dII3}, Q_{dII4} от расстояния до границ очагов соответствующих указанным вероятностям пожаров приведены на рис. 3.2.13 и 3.2.14.

Согласно результатам расчета условные вероятности поражения Q_{dIII1} и Q_{dIV1} в непосредственной близости от границы очага пожара (поверхность резервуара № 1 или № 2 соответственно) за его пределами составляют 0,275. При

этом на расстоянии 20 м от границы очага пожара условные вероятности Q_{dIII1} и Q_{dIV1} равны 0.

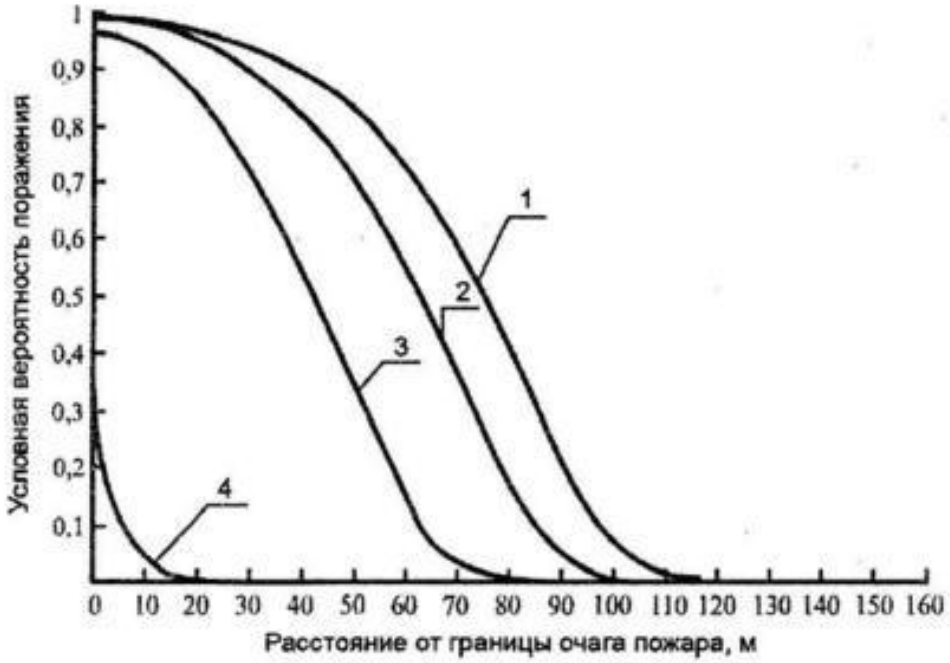


Рис. 3.2.13. Зависимости условных вероятностей поражения человека тепловым излучением от расстояния до очага пожара:

1 – Q_{dII4}; 2 – Q_{dII3}; 3 – Q_{dII2}; 4 – Q_{dII1}



Рис. 3.2.14. Зависимости условных вероятностей поражения человека тепловым излучением от расстояния до очага пожара:

1 – Q_{dII4}; 2 – Q_{dII3}; 3 – Q_{dII2}; 4 – Q_{dII1}

Условные вероятности Q_{dIII2} и Q_{dIV2} в непосредственной близости от границы очага пожара (поверхность резервуара № 1 или № 2 соответственно) за его пределами составляют 0,938. При этом на расстоянии 56 м от границы очага пожара условные вероятности Q_{dIII2} и Q_{dIV2} равны 0.

Условные вероятности Q_{dIII3} и Q_{dIV3} в непосредственной близости от границы очага пожара (поверхность резервуара № 1 или № 2 соответственно) за его пределами составляют 0,963. При этом на расстоянии 65 м от границы очага пожара условные вероятности Q_{dIII3} и Q_{dIV3} равны 0.

Условные вероятности Q_{dIII4} и Q_{dIV4} в непосредственной близости от границы очага пожара (поверхность резервуара № 1 или № 2 соответственно) за его пределами составляют 0,972. При этом на расстоянии 71 м от границы очага пожара условные вероятности Q_{dIII4} и Q_{dIV4} 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_{dIII1}, Q_{dIII2}, Q_{dIII3}, Q_{dIII4}, Q_{dIV1}, Q_{dIV2}, Q_{dIV3}, Q_{dIV4} вне пределов площади, занимаемой резервуаром, на котором реализуется пожар (соответственно резервуар № 1 или № 2), консервативно (оценка сверху) принимались равными:

$Q_{dIII1} = Q_{dIV1} = 0{,}275$ в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной $20 - 13{,}9 = 6{,}1$ м, $Q_{dIII1} = Q_{dIV1} = 0$ на расстояниях от обвалования (ограждения) парка более 6,1 м;

$Q_{dIII2} = Q_{dIV2} = 0{,}938$ в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной 56 – 13,9 = 42,1 м, $Q_{dIII2} = Q_{dIV2} = 0$ на расстояниях от обвалования (ограждения) парка более 42,1 м;

$Q_{dIII3} = Q_{dIV3} = 0{,}963$ в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной 65 – 13,9 = 51,1 м, $Q_{dIII3} = Q_{dIV3} = 0$ на расстояниях от обвалования (ограждения) парка более 51,1 м;

$Q_{dIII4} = Q_{dIV4} = 0{,}972$ в пределах обвалования (ограждения) парка и в полосе вдоль обвалования (ограждения) парка шириной 71 – 13,9 = 57,1 м, $Q_{dIII4} = Q_{dIV4} = 0$ на расстояниях от обвалования (ограждения) парка более 57,1 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) прил. 4, для случая сгорания паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности (площадь поверхности испарения $F_{R1} = F_1 = 7000$ м^2) пролива бензина в пределах обвалования (ограждения) парка, составляет

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

Радиус воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки, определяемый по формуле (П4.67) прил. 4, для случая сгорания паровоздушного облака, образующегося в результате испарения с поверхности пролива (площадь поверхности испарения $F_{R2} = F_2 = 83\,000$ м^2) в результате полного разрушения

резервуара с переливом части бензина через обвалование (ограждение) парка, составляет

$$R_{F2} = 1,2R_{2НКПР} = 1,2 \cdot 228,5 = 274 \text{ м}.$$

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

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

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

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

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) прил. 6) на основе полученных зависимостей $\Delta P_1(r)$, $I_1^+(r)$, $\Delta P_2(r)$, $I_2^+(r)$.

Для демонстрации расчета условной вероятности поражения волной давления с использованием пробит-функции, проведенного по регламентированному прил. 6 методу, ниже приведен расчет условной вероятности пора-

жения человека волной давления при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения с поверхности пролива 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 составляет

$\Delta P = 1{,}87 \cdot 10^4$ Па;

импульс фазы сжатия волны давления составляет

$I^+ = 1435$ Па · с.

Величина параметра V, определяемого по формуле (П6.8) прил. 6, составляет

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

Значение пробит-функции Pr, определяемое по формуле (П6.7) прил. 6, составляет

$$\mathrm{Pr} = 5{,}0 - 0{,}26 \ln V = 5{,}0 - 0{,}26 \ln 0{,}573 = 5{,}15.$$

Согласно табл. П4.2 прил. 6 полученному значению пробит-функции соответствует значение условной вероятности поражения 56 %. Таким образом, для рассматриваемого 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. 3.2.15.

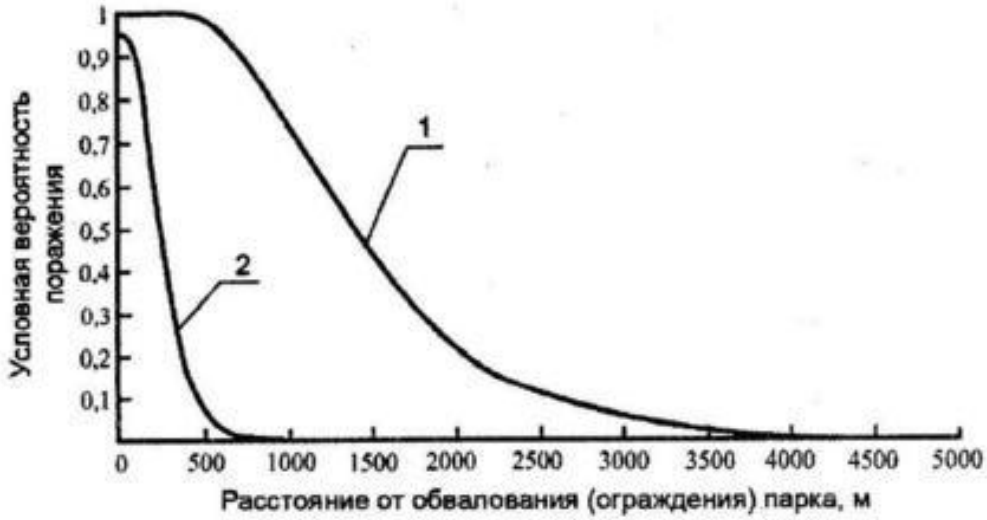


Рис. 3.2.15. Зависимости условных вероятностей поражения человека волной давления от расстояния до обвалования (ограждения) парка:

1 – Q_{dVIII}; 2 – Q_{dVII}

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: A, B, C (см. рис. 3.2.16), внутри которых значения потенциального риска *P* полагаются одинаковыми (в пределах одной зоны).

Приведем значения условной вероятности поражения для различных зон.

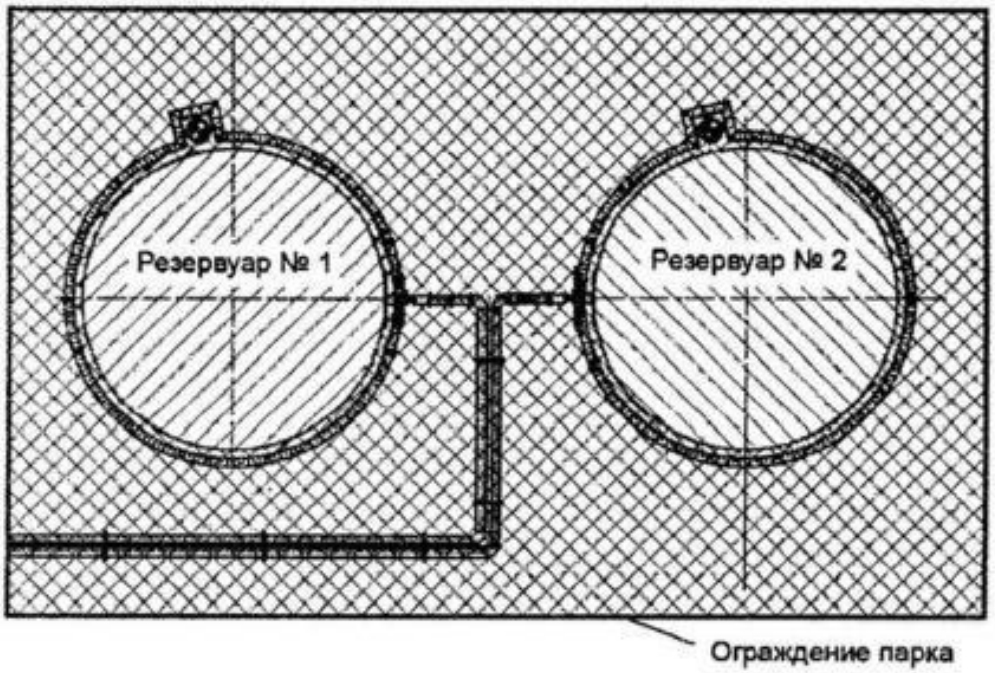


Рис. 3.2.16. Схема резервуарного парка к расчету потенциального пожарного риска в границах обвалования (ограждения):

– зона А; – зона В; – зона С

Зона А:

$Q_{dI1} = 1;$	$Q_{dII4} = 1;$	$Q_{dIV3} = 0{,}963;$
$Q_{dI2} = 1;$	$Q_{dIII1} = 1;$	$Q_{dIV4} = 0{,}972;$
$Q_{dI3} = 1;$	$Q_{dIII2} = 1;$	$Q_{dV} = 1;$
$Q_{dI4} = 1;$	$Q_{dIII3} = 1;$	$Q_{dVI} = 1;$
$Q_{dII1} = 1;$	$Q_{dIII4} = 1;$	$Q_{dVII} = 1;$
$Q_{dII2} = 1;$	$Q_{dIV1} = 0{,}275;$	$Q_{dVIII} = 1.$
$Q_{dII3} = 1;$	$Q_{dIV2} = 0{,}938;$	

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

$$P_A = \sum_{j=1}^{J} Q_{dj} Q_j = Q_{dI1} Q_{I1} + Q_{dI2} Q_{I2} + Q_{dI3} Q_{I3} + Q_{dI4} Q_{I4} +$$

$$+ Q_{dII1}Q_{II1} + Q_{dII2}Q_{II2} + Q_{dII3}Q_{II3} + Q_{dII4}Q_{II4} + Q_{dIII1}Q_{III1} + Q_{dIII2}Q_{III2} +$$
$$+ Q_{dIII3}Q_{III3} + Q_{dIII4}Q_{III4} + Q_{dIV1}Q_{IV1} + Q_{dIV2}Q_{IV2} + Q_{dIV3}Q_{IV3} +$$
$$+ Q_{dIV4}Q_{IV4} + Q_{dV}Q_{V} + Q_{dVI}Q_{VI} + Q_{dVII}Q_{VII} + Q_{dVIII}Q_{VIII} =$$
$$= 1 \cdot 7{,}8 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 3{,}8 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-7} +$$
$$+ 1 \cdot 2{,}9 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 9{,}3 \cdot 10^{-9} +$$
$$+ 1 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-7} +$$
$$+ 0{,}275 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-4} + 0{,}938 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-5} + 0{,}963 \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-6} +$$
$$+ 0{,}972 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 9{,}2 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 3{,}3 \cdot 10^{-6} +$$
$$+ 1 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-7} = 3{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Зона В:

$Q_{dI1} = 1;$	$Q_{dII4} = 1;$	$Q_{dIV3} = 1;$
$Q_{dI2} = 1;$	$Q_{dIII1} = 0{,}275;$	$Q_{dIV4} = 1;$
$Q_{dI3} = 1;$	$Q_{dIII2} = 0{,}938;$	$Q_{dV} = 1;$
$Q_{dI4} = 1;$	$Q_{dIII3} = 0{,}963;$	$Q_{dVI} = 1;$
$Q_{dII1} = 1;$	$Q_{dIII4} = 0{,}972;$	$Q_{dVII} = 1;$
$Q_{dII2} = 1;$	$Q_{dIV1} = 1;$	$Q_{dVIII} = 1.$
$Q_{dII3} = 1;$	$Q_{dIV2} = 1;$	

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

$$P_B = \sum_{j=1}^{J} Q_{dj}Q_j = Q_{dI1}Q_{I1} + Q_{dI2}Q_{I2} + Q_{dI3}Q_{I3} + Q_{dI4}Q_{I4} +$$
$$+ Q_{dII1}Q_{II1} + Q_{dII2}Q_{II2} + Q_{dII3}Q_{II3} + Q_{dII4}Q_{II4} + Q_{dIII1}Q_{III1} + Q_{dIII2}Q_{III2} +$$
$$+ Q_{dIII3}Q_{III3} + Q_{dIII4}Q_{III4} + Q_{dIV1}Q_{IV1} + Q_{dIV2}Q_{IV2} + Q_{dIV3}Q_{IV3} +$$
$$+ Q_{dIV4}Q_{IV4} + Q_{dV}Q_{V} + Q_{dVI}Q_{VI} + Q_{dVII}Q_{VII} + Q_{dVIII}Q_{VIII} =$$
$$= 1 \cdot 7{,}8 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 3{,}8 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-7} +$$
$$+ 1 \cdot 2{,}9 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 9{,}3 \cdot 10^{-9} +$$
$$+ 0{,}275 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-4} + 0{,}938 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-5} + 0{,}963 \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-6} +$$
$$+ 0{,}972 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-6} +$$

$+1\cdot 4{,}3\cdot 10^{-7}+1\cdot 2{,}2\cdot 10^{-6}+1\cdot 9{,}2\cdot 10^{-8}+1\cdot 3{,}3\cdot 10^{-6}+$
$+1\cdot 1{,}4\cdot 10^{-7}=3{,}5\cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$.

Зона С:

$Q_{dI1}=1;$	$Q_{dII4}=1;$	$Q_{dIV3}=0{,}963;$
$Q_{dI2}=1;$	$Q_{dIII1}=0{,}275;$	$Q_{dIV4}=0{,}972;$
$Q_{dI3}=1;$	$Q_{dIII2}=0{,}938;$	$Q_{dV}=1;$
$Q_{dI4}=1;$	$Q_{dIII3}=0{,}963;$	$Q_{dVI}=1;$
$Q_{dII1}=1;$	$Q_{dIII4}=0{,}972;$	$Q_{dVII}=1.$
$Q_{dII2}=1;$	$Q_{dIV1}=0{,}275;$	$Q_{dVIII}=1.$
$Q_{dII3}=1;$	$Q_{dIV2}=0{,}938;$	

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

$$P_C=\sum_{j=1}^{J}Q_{dj}Q_j=Q_{dI1}Q_{I1}+Q_{dI2}Q_{I2}+Q_{dI3}Q_{I3}+Q_{dI4}Q_{I4}+$$

$+Q_{dII1}Q_{II1}+Q_{dII2}Q_{II2}+Q_{dII3}Q_{II3}+Q_{dII4}Q_{II4}+Q_{dIII1}Q_{III1}+Q_{dIII2}Q_{III2}+$
$+Q_{dIII3}Q_{III3}+Q_{dIII4}Q_{III4}+Q_{dIV1}Q_{IV1}+Q_{dIV2}Q_{IV2}+Q_{dIV3}Q_{IV3}+$
$+Q_{dIV4}Q_{IV4}+Q_{dV}Q_V+Q_{dVI}Q_{VI}+Q_{dVII}Q_{VII}+Q_{dVIII}Q_{VIII}=$
$=1\cdot 7{,}8\cdot 10^{-5}+1\cdot 1{,}8\cdot 10^{-5}+1\cdot 3{,}8\cdot 10^{-6}+1\cdot 2{,}5\cdot 10^{-7}+$
$+1\cdot 2{,}9\cdot 10^{-6}+1\cdot 6{,}7\cdot 10^{-7}+1\cdot 1{,}4\cdot 10^{-7}+1\cdot 9{,}3\cdot 10^{-9}+$
$+0{,}275\cdot 1{,}3\cdot 10^{-4}+0{,}938\cdot 3{,}1\cdot 10^{-5}+0{,}963\cdot 6{,}4\cdot 10^{-6}+$
$+0{,}972\cdot 4{,}3\cdot 10^{-7}+0{,}275\cdot 1{,}3\cdot 10^{-4}+0{,}938\cdot 3{,}1\cdot 10^{-5}+$
$+0{,}963\cdot 6{,}4\cdot 10^{-6}+0{,}972\cdot 4{,}3\cdot 10^{-7}+1\cdot 2{,}2\cdot 10^{-6}+$
$+1\cdot 9{,}2\cdot 10^{-8}+1\cdot 3{,}3\cdot 10^{-6}+1\cdot 1{,}4\cdot 10^{-7}=2{,}5\cdot 10^{-4}$ 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. 3.2.17 в виде графика зависимости потенциального пожарного риска от расстояния до обвалования (ограждения) парка.

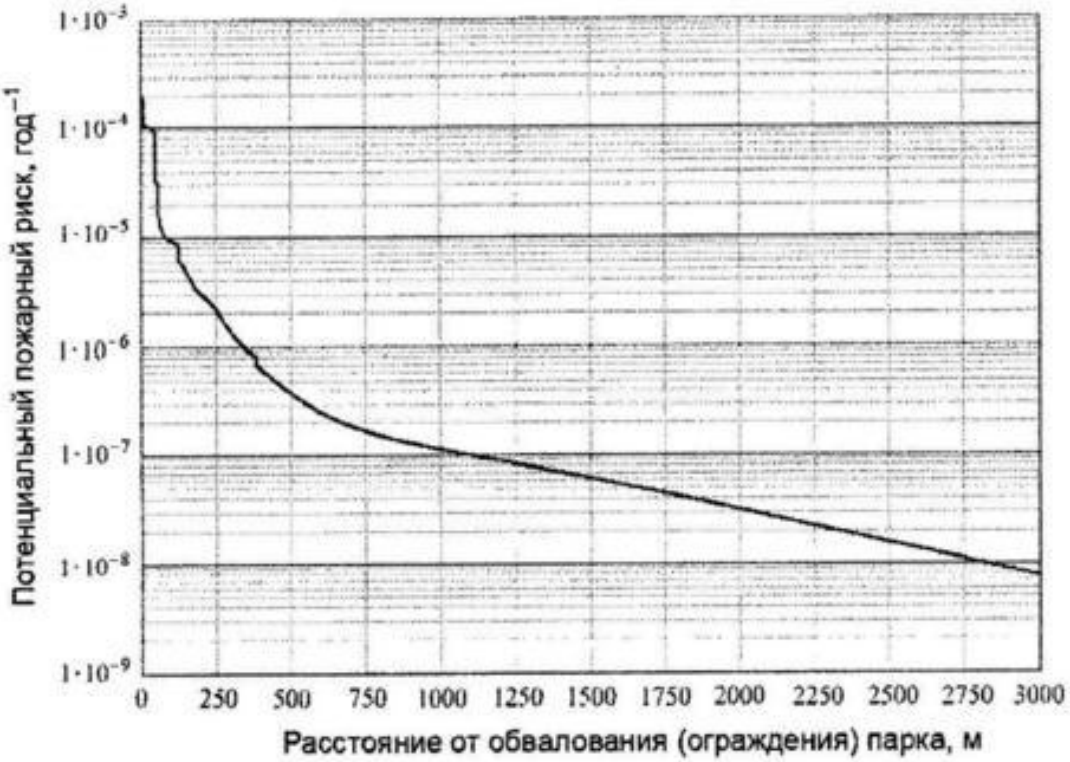


Рис. 3.2.17. Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния до обвалования (ограждения) парка

Индивидуальный пожарный риск на территории объекта

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

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

Принималось, что доля времени присутствия конкретного работника из числа персонала (работника m) на терри-

тории производственного объекта, в состав которого входит рассматриваемый резервуарный парк, не превышает 40 ч в неделю, что составляет около 24 %.

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

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

Максимальное значение потенциального риска на территории рассматриваемого резервуарного парка составляет $3{,}5 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$.

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

$R = 0{,}12 \cdot 3{,}5 \cdot 10^{-4} = 4{,}2 \cdot 10^{-5}$ 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 $7{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$.

В соответствии с п. 2.6.20 Пособия для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, величина инди-

видуального 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 $7{,}4 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$ и не превышает нормативное значение.

Условные вероятности поражения Q_{dI1}, Q_{dI2}, Q_{dI3}, Q_{dI4}, Q_{dII1}, Q_{dII2}, Q_{dII3}, Q_{dII4}, Q_{dIII1}, Q_{dIII2}, Q_{dIII3}, Q_{dIII4}, Q_{dIV1}, Q_{dIV2}, Q_{dIV3}, Q_{dIV4}, 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 три человека на один участок. Таким образом, среднее число людей, находящихся в селитебной зоне составляет $n = 60 \cdot 3 = 180$ 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:

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

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.

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

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

Территория рассматриваемого Объекта представляет собой совокупность следующих участков:

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

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

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

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

Таблица 3.3.1

Значения потенциального пожарного риска на территории Объекта

Наименование участка территории объекта	Максимальная величина потенциального пожарного риска в пределах участка $P(i)$, год$^{-1}$
A	$1{,}2 \cdot 10^{-7}$
B	$2{,}7 \cdot 10^{-6}$
C	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$

Примечание. Для участка А приведено значение потенциального пожарного риска, обусловленного опасностью пожаров вне пределов этого здания.

Таблица 3.3.2

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

Наименование помещения	Максимальная величина потенциального пожарного риска в пределах участка P_i, год$^{-1}$
A1	$3{,}4 \cdot 10^{-6}$
A2	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$
A3	$1{,}4 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3.3.3

Вероятность присутствия персонала на различных участках Объекта

Наименование участка территории Объекта	Вероятность присутствия на участке Объекта q_{im}		
	Работники I категории	Работники II категории	Работники III категории
A	0,14	0,05	0,05
A1	0,06	0,01	0,01
A2	0,06	0,01	0,01
A3	0,02	0,03	0,03
B	0,04	0,01	0,16
C	0,04	0,16	0,01

По формуле (9) рассчитывается величина индивидуального пожарного риска R_{m1} для работника I категории при его нахождении на территории Объекта:

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

$$+ 0{,}04 \cdot 1{,}9 \cdot 10^{-5} = 8{,}8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

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

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

$$+ 1{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}02 = 5{,}4 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

В соответствии с п. 2.6.18 величина индивидуального пожарного риска для работников I категории R_I составляет

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

Аналогично рассчитываются величины индивидуального пожарного риска для работников II и III категории, которые составляют соответственно

$R_{II} = 8{,}7 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$ и $R_{III} = 6{,}3 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

3.4. Пример расчета социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта

В настоящем примере приводится расчет величины социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи некоторого заданного производственного объекта (далее – Объект).

Селитебная зона вблизи рассматриваемого Объекта характеризуется наличием двух областей (зоны А и В) с возможностью присутствия населения в количестве $n_A = 30$ чел. и $n_B = 50$ чел. в зоне А и В соответственно.

В ходе проведения расчетов по определению величин пожарного риска в соответствии с методикой [1] для Объекта рассматриваются сценарии развития пожароопасных ситуаций, характеризующиеся следующими (см. табл. 3.4.1) частотами реализации и условными вероятностями поражения.

Таблица 3.4.1

№ рассматриваемого сценария j	Частота реализации j-го сценария Q_j, год$^{-1}$	Условная вероятность поражения человека в селитебной зоне	
		в зоне А Q_{dAj}	в зоне В Q_{dBj}
1	$1{,}2 \cdot 10^{-7}$	0,032	0,117
2	$2{,}7 \cdot 10^{-8}$	0,512	0,465
3	$0{,}6 \cdot 10^{-7}$	0,276	0,005
4	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	0,124	0,012
5	$6{,}4 \cdot 10^{-8}$	0,378	0,293
6	$3{,}2 \cdot 10^{-9}$	0,874	0,705

По формуле (12) определяется среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи Объекта в результате реализации каждого из рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций.

Таким образом, в случае реализации сценария № 1 среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи Объекта N_1 составляет

$$N_1 = Q_{dA1} n_A + Q_{dB1} n_B = 0{,}032 \cdot 30 + 0{,}117 \cdot 50 = 6{,}81.$$

Аналогично определяется среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи Объекта и для других сценариев из числа рассматриваемых. Результаты расчета среднего числа погибших людей в селитебной зоне вблизи Объекта при реализации каждого из рассматриваемых сценариев приведены в табл. 3.4.2.

Таблица 3.4.2

№ рассматриваемого сценария j	Среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи Объекта в результате реализации j-го сценария N_j, чел.	Примечания
1	6,81	< 10
2	38,61	≥ 10
3	8,53	< 10
4	4,32	< 10
5	25,99	≥ 10
6	61,47	≥ 10

Как видно из табл. 3.4.2, для сценариев № 1, 3 и 4 среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи Объекта в результате реализации указанных сценариев развития пожароопасных ситуаций менее 10 чел., следовательно, в соответствии с формулой (12) методики [1] указанные сценарии при расчете величины социального пожарного риска для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи Объекта, не учитываются.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи Объекта, величина социального пожарного риска S определяется по формуле (11) методики [1] и составляет

$$S = Q_2 + Q_5 + Q_6 = 2{,}7 \cdot 10^{-8} + 6{,}4 \cdot 10^{-8} + 3{,}2 \cdot 10^{-9} = 9{,}4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

Таким образом, величина социального пожарного риска для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи Объекта, составляет $9{,}4 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$.

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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
1	Алюминий	Al	26,98	-	320	-	-	-	-	40,0	ГП	31 097
2	Амилацетат	$C_7H_{14}O_2$	130,196	+43	+290	6,29350	1579,510	221,365	25÷147	1,08	ЛВЖ	29 879
3	Амилен	C_5H_{10}	70,134	<-18	+273	5,91048	1014,294	229,783	-60÷100	1,49	ЛВЖ	45 017
4	н-Амиловый спирт	$C_5H_{12}O$	88,149	+48	+300	6,3073	1287,625	161,330	74÷157	1,46	ЛВЖ	38 385
5	Аммиак	NH_3	17,03	-	+650	-	-	-	-	15,0	ГГ	18 585
6	Анилин	C_8H_7N	93,128	+73	+617	6,04622	1457,02	176,195	35÷184	1,3	ГЖ	32 386
7	Ацетальдегид	C_2H_4O	44,053	-40	+172	6,31653	1093,537	233,413	-80÷20	4,12	ЛВЖ	27 071
8	Ацетилен	C_2H_2	26,038	-	+335	-	-	-	-	2,5	ГГ (ВВ)	49 965
9	Ацетон	C_3H_6O	58,08	-18	+535	6,37551	1281,721	237,088	-15÷93	2,7	ЛВЖ	31 360

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
10	Бензиловый спирт	C_7H_8O	108,15	+90	+415	-	-	-	-	1,3	ГЖ	-
11	Бензол	C_6H_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
12	Бензойная кислота	$C_7H_6O_2$	122,12	-	+532	8,703213	2792,832	230,470	-	20,0	ГП	26007
13	1,3-Бутадиен	C_4H_6	54,091	-	+430	-	-	-	-	2,0	ГГ	44573
14	н-Бутан	C_4H_{10}	58,123	-69	+405	6,00525	968,098	242,555	-130÷0	1,8	ГГ	45713
15	1-Бутен	C_4H_8	56,107	-	+384	-	-	-	-	1,6	ГГ	45317
16	2-Бутен	C_4H_8	56,107	-	+324	-	-	-	-	1,8	ГГ	45574
17	н-Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	116,16	+29	+330	6,25205	1430,418	210,745	59÷126	1,35	ЛВЖ	28280
18	втор-Бутил-ацетат	$C_6H_{12}O_2$	116,16	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛВЖ	28202
19	н-Бутиловый спирт	$C_4H_{10}O$	74,122	+35	+340	8,72232	2664,684	279,638	-1÷126	1,8	ЛВЖ	36805

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКТР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
20	Винилхлорид	C_2H_3Cl	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	$C_7H_6O_5$	170,13	-	+407 (аэрогеля)	-	-	-	-	130,0	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_6H_{14}	86,177	-23	+233	5,99517	1166,274	223,661	-54÷69	1,24	ЛВЖ	45105
25	н-Гексиловый спирт	$C_6H_{14}O$	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_7H_{16}	100,203	-4	+223	6,07647	1295,405	219,819	60÷98	1,07	ЛВЖ	44919
27	Гидразин	N_2H_4	32,045	+38	+132	7,99805	2266,447	266,316	84÷112	4,7	ЛВЖ (ВВ)	14644
28	Глицерин	$C_3H_8O_3$	92,1	+198	+400	8,177393	3074,220	214,712	141÷263	2,6	ГЖ	16102

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
29	Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	180,1	-	+367 (аэрогеля)	-	-	-	-	35,0	ГП	15563
30	Графит	C	12,001	-	+540-600 (аэрогеля)	-	-	-	-	-	ГП	$3,3 \cdot 10^7$
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_4H_6O	70,1	-30	+360	-	-	-	-	1,7	ЛВЖ	32610
33	N,N-Диметилформамид	C_3H_7ON	73,1	+53	+440	6,15939	1482,985	204,342	25÷153	2,35	ЛВЖ	-
34	1,4-Диоксан	$C_4H_8O_2$	88,1	+11	+375	6,64091	1632,425	250,725	12÷101	2,0	ЛВЖ	-
35	1,2-Дихлорэтан	$C_2H_4Cl_2$	98,96	+9	+413	6,78615	1640,179	259,715	-24÷83	6,2	ЛВЖ	10873

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
36	Диэтиламин	$C_4H_{11}N$	73,14	-14	+310	6,34794	1267,557	236,329	-33÷59	1,78	ЛВЖ	34 876
37	Диэтиловый эфир	$C_4H_{10}O$	74,12	-41	+180	6,12270	1098,945	232,372	-60÷35	1,7	ЛВЖ	34 147
38	н-Додекан	$C_{12}H_{26}$	170,337	+77	+202	7,29574	2463,739	253,884	48÷214	0,63	ГЖ	44 470
39	Железо	Fe	56	-	+300–940 (аэровзвеси)	-	-	-	-	100,0–875,0	ГП	7450
40	Изобутан	C_4H_{10}	58,123	-76	+462	5,95318	916,054	243,783	-159÷12	1,81	ГГ	45 578
41	Изобутилен	C_4H_8	56,11	-	+465	-	-	-	-	1,78	ГГ	45 928
42	Изобутиловый спирт	$C_4H_{10}O$	74,12	+28	+390	7,83005	2058,392	245,642	-9÷116	1,8	ЛВЖ	36 743
43	Изопентан	C_5H_{12}	72,15	-52	+432	5,91799	1022,551	233,493	-83÷28	1,36	ЛВЖ	45 239
44	Изопропилбензол	C_9H_{12}	120,20	+37	+424	6,06756	1461,643	207,56	2,9÷152,4	0,88	ЛВЖ	46 663

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
45	Изопропиловый спирт	C_3H_8O	60,09	+14	+430	7,51055	1733,00	232,380	-26÷148	2,23	ЛВЖ	34 139
46	Кальций	Ca	40,08	-	+730–750 (аэрогеля)	-	-	-	-	-	ГП	15 800
47	м-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+28	+530	6,13329	1461,925	215,073	-20÷220	1,1	ЛВЖ	52 829
48	о-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+31	+460	6,28893	1575,114	223,579	-3,8÷144,4	1,0	ЛВЖ	41 217
49	п-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	-8,1÷138,3	1,1	ЛВЖ	41 207
50	Магний	Mg	24,32	-	+420–440	-	-	-	-	25,0	ГП	25 000
51	Метан	CH_4	16,04	-	+537	5,68923	380,224	264,804	-182÷-162	5,28	ГГ	50 000
52	Метиловый спирт	CH_4O	32,04	+6	+440	7,3527	1660,454	245,818	-10÷90	6,98	ЛВЖ	23 839
53	Метилпропил-кетон	$C_5H_{10}O$	86,133	+6	+452	6,98913	1870,4	273,2	-17÷103	1,49	ЛВЖ	33 879

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
54	Метилэтил-кетон	C_4H_8O	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	39 435
56	н-Нонан	C_9H_{20}	128,257	+31	+205	6,17776	1510,695	211,502	2÷150	0,78	ЛВЖ	44 684
57	Оксид углерода	CO	28,01	-	+605	-	-	-	-	12,5	ГГ	10 104
58	Оксид этилена	C_2H_4O	44,05	-18	+430	-	-	-	-	3,2	ГГ (ВВ)	27 696
59	н-Октан	C_8H_{18}	114,230	+14	+215	6,09396	1379,556	211,896	-14÷126	0,9	ЛВЖ	44 787
60	н-Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	212,42	+115	+203	6,0673	1739,084	.157,545	92÷270	0,5	ГЖ	44 342
61	Пенополи-уретан	-	-	-	+450	-	-	-	-	30,0	ГП	24 850–27 360
62	н-Пентан	C_5H_{12}	72,150	-44	+286	5,97208	1062,555	231,805	-50÷36	1,47	ЛВЖ	45 350
63	γ-Пиколин	C_6H_7N	93,128	+39	+578	6,44382	1632,315	224,787	70÷145	1,4	ЛВЖ	36 702
64	Пиридин	C_5H_5N	79,10	+20	+530	5,91684	1217,730	196,342	-19÷116	1,8	ЛВЖ	35 676

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
65	Полипропилен	$(C_3H_6)_n$	-	-	+325–388 (аэрогеля)	-	-	-	-	40,0	ГП	44 000
66	Полиэтилен	(C_2H_4)	-	-	+380 (аэрогеля)	-	-	-	-	20,0	ГП	46 590
67	Пропан	C_3H_8	44,096	-96	+470	5,95547	813,864	248,116	-189÷-42	2,3	ГГ	46 353
68	Пропилен	C_3H_6	42,080	-	+455	5,94852	786,532	247,243	-107,3÷-47,1	2,4	ГГ	45 604
69	н-Пропиловый спирт	C_3H_8O	60,09	+23	+371	7,44201	1751,981	225,125	0÷97	2,3	ЛВЖ	34 405
70	Сахар (сахароза)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342,3	-	+220 (аэрогеля)	-	-	-	-	35,0–58,0-	ГП	16 490
71	Сера	S	256,5	-	+260 (аэрогеля)	-	-	-	-	37,5	ГП	9210

Продолжение табл. П.1.1

№ 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 $C_{нкпр}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
72	Сероводород	H_2S	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_8H_8	104,14	+30	+490	7,06542	2113,057	272,986	-7÷146	1,1	ЛВЖ	43888
75	Тетрагидрофуран	C_4H_8O	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_7H_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_8H_{18}	114,230	-4	+411	5,93682	1257,84	220,735	-60÷175	1,0	ЛВЖ	44647
80	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	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_2O	30,03	-	+430	5,40973	607,399	197,626	-19÷60	7,0	ГГ	19007

Окончание табл. П.1.1

№ 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
83	Фталевый ангидрид	$C_8H_4O_3$	148,1	+153	+580	7,12439	2879,067	277,501	134÷285	1,7 (15 г · м$^{-3}$)	ТГВ	-
84	Хлорбензол	C_6H_5Cl	112,56	+29	+637	6,38605	1607,316	235,351	-35÷132	1,4	ЛВЖ	27315
85	Хлорэтан	C_2H_5Cl	64,51	-50	+510	6,11140	1030,007	238,612	-56÷12	3,8	ГГ	19392
86	Циклогексан	C_6H_{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)	-	-	-	-	250,0	ГП	5020
88	Этан	C_2H_6	30,069	-	+515	-	-	-	-	2,9	ГГ	52413
89	Этилацетат	$C_4H_8O_2$	88,10	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	15÷75,8	2,0	ЛВЖ	23587
90	Этилбензол	C_8H_{10}	106,16	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	-9,8÷136,2	1,0	ЛВЖ	41323
91	Этилен	C_2H_4	28,05	-	+435	-	-	-	-	2,7	ГГ	46988
92	Этиленгликоль	$C_2H_6O_2$	62,068	+111	+412	8,13754	2753,183	252,009	53÷198	4,29	ГЖ	19329
93	Этиловый спирт	C_2H_6O	46,07	+13	+400	7,81158	1918,508	252,125	-31÷78	3,6	ЛВЖ	30562
94	Этилцеллозольв	$C_4H_{10}O_2$	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), состав смеси, % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг · киль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
1	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72*)	$C_{7,257}H_{14,796}$	102,2	-34	300	7,54424	2629,65	384,195	-40÷100	0,79	ЛВЖ	44 094
2	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-77*)	$C_{6,991}H_{13,108}$	97,2	-36	-	4,19500	682,876	222,066	-60÷85	1,08	ЛВЖ	44 239
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-77*)	$C_{7,024}H_{13,706}$	98,2	-36	-	4,12311	664,976	221,695	-60÷95	1,06	ЛВЖ	43 641
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-77*)	$C_{6,911}H_{12,168}$	95,3	-37	-	4,26511	695,019	223,220	-60÷90	1,1	ЛВЖ	43 641

Продолжение табл. П.1.2

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
5	Дизельное топливо «З» (ГОСТ 305-82*)	$C_{12,343}H_{23,889}$	172,3	>+35	+225	5,07818	1255,73	199,523	40÷210	0,61	ЛВЖ	43 590
6	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-82*)	$C_{14,511}H_{29,120}$	203,6	>+40	+210	5,00109	1314,04	192,473	60÷240	0,52	ЛВЖ	43 419
7	Древесно-стружечная пыль	-	-	-	-	-	-	-	-	60	ГП	14 000–17 000
8	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	$C_{13,595}H_{26,860}$	191,7	>+40	+227	4,82177	1211,73	194,677	40÷240	0,55	ЛВЖ	43 692
9	Керосин осветительный 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	43 692

Продолжение табл. П.1.2

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
10	Керосин осветительный 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	43 692
11	Ксилол (смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C_8H_{10}	106,17	+29	+490	6,17972	1478,16	220,535	0÷50	1,1	ЛВЖ	43 154
12	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-78*)	$C_{10,5}H_{21,0}$	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛВЖ	43 966
13	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-76*)	$C_{21,74}H_{42,28}S_{0,04}$	303,9	>+135	+270	6,88412	2524,17	174,010	164÷343	0,29	ГЖ	43 111
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	42 257

Продолжение табл. П.1.2

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
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, ацетон-26)	$C_{5,452}$ $H_{7,606}$ $O_{0,535}$	81,7	-7	+550	6,29685	1373,667	242,828	-15÷100	1,65	ЛВЖ	40936
19	Растворитель Р-4 (ксилол-15, толуол-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

Продолжение табл. П.1.2

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
20	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	$C_{5,309}H_{8,655}O_{0,897}$	86,8	-9	-	6,30343	1378,851	245,039	-15÷100	1,57	ЛВЖ	43 154
21	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-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	43 154
22	Растворитель М (н-бутилацетат-30, этилацетат-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	36 743

Продолжение табл. П.1.2

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная 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 $C_{нкпр}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
23	Растворитель РМП (ТУКУ 467-56) (толуол-10, этиловый спирт-64, н-бутиловый спирт-10, этилцеллозольв-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
24	Растворитель РМП-218 (МРТУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат-9, ксилол-21,5, толуол-21,5, этиловый спирт-16, н-бутиловый спирт-3, этилцеллозольв-13, этилацетат-16)	$C_{4,791}H_{8,318}O_{0,974}$	81,51	+4	+399	7,20244	1761,043	251,546	0÷50	1,72	ЛВЖ	43154

Продолжение табл. П.1.2

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	B	C_A				
25	Растворитель РМЛ-315 (ТУ6-10-1013-70) (н-бутилацетат-18, ксилол-25, толуол-25, н-бутиловый спирт-15, этилцеллозольв-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	43 154
26	Сено	-	-		+180 (аэрогеля)	-	-	-	-	200	ГП	16 652,3
27	Табак	-	-	-	+230 (аэрогеля)	-	-	-	-	41	ГП	17 000–19 000

Окончание табл. П.1.2

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная 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 $C_{НКПР}$, % (об.) (г/м^3 для ГП)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
28	Торфяная пыль	-	-	-	+425	-	-	-	-	45	ГП	10440
29	Хлопок	-	-	-	+407 (аэрогеля)	-	-	-	-	58	ГП	16300
30	Целлюлоза	-	-	-	+270 (аэрогеля)	-	-	-	-	45–88	ГП	26100
31	Шерсть	-	-	-	570–600	-	-	-	-	142	ГП	20502

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; ворсистые 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

Продолжение табл. П1.3

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		
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; древесина 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 строй-материалы; штабель	13,8	61	0,006	0,059	1,15	1,57	0,024	-
Лиственные древесные строй-материалы; штабель	13,8	53	0,014	0,059	1,15	1,57	0,024	-

Продолжение табл. П1.3

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		
Клееные стройматериалы; фанера	18,4	104	0,009	0,017	1,21	0,54	0,121	-
Сырье для легкой промышленности; хлопок разрыхленный	16,4	0,6	0,021	0,045	2,3	0,57	0,0052	-
Сырье для легкой промышленности; лен разрыхленный	15,7	3,4	0,021	0,05	1,83	0,36	0,0039	-
Сырье для легкой промышленности; хлопок и капрон (0,75 + 0,25)	15,7	4,3	0,013	0,028	3,55	1,05	0,012	-
Сырье для легкой промышленности; 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 синтетического 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	-

Окончание табл. П1.3

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		
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 покрытие; 0,95 древесина + 0,05 (ФЛ + РХО)	13,9	64	0,023	0,015	1,19	0,72	0,02	0,0005
Автомобиль; 0,3 (резина, бензин) + + 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, полиэтилен 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 теплота сгорания, МДж/кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м^2 · 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 40 × 40 × 40 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
Кинопленка 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 + 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 разрыхленном состоянии	0,1
Корд	0,017
Хлопок разрыхленный	0,042
Лен разрыхленный	0,05
Хлопок + капрон (3:1)	0,028
Древесина в штабелях при различной 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-волокнистыми 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	90
Фанера	140
Сосна	145
Береза	160
Древесно-волокнистая плита (ДВП)	130
Линолеум ПВХ	270
Стеклопластик	340
Полиэтилен	890
Табак «Юбилейный» I сорт, вл. 13 %	120
Пенопласт ПВХ-9	1290
Пенопласт ПС-1-200	1000
Резина	850
Полиэтилен высокого давления (ПЭФВ)	790
Пленка ПВХ марки ПДО-15	400
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

Вещества и материалы	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 аварию 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	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$

Продолжение табл. П2.1

Наименование оборудования	Инициирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, $год^{-1}$
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 изотермические 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 с плавающей крышей	Пожар в кольцевом зазоре по периметру резервуара	–	$4{,}6 \cdot 10^{-3}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	–	$9{,}3 \cdot 10^{-4}$

Окончание табл. П2.1

Наименование оборудования	Инициирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год$^{-1}$
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 сливоналивных 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 сливоналивных операций в таблице приведена вероятность разгерметизации (разрушения) на одну сливоналивную 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 прил. 3 к настоящему Пособию. При отсутствии необходимых данных допускается принимать частоту внешнего воздействия, приводящего к реализации огненного шара, равной $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$ на один аппарат (резервуар).

Таблица П2.2

Частоты утечек из технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек ($м^{-1} \cdot год^{-1}$)				
	Малая (диаметр отверстия 12,5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Значительная (диаметр отверстия 50 мм)	Большая (диаметр отверстия 100 мм)	Разрыв
50	$5{,}7 \cdot 10^{-6}$	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$	–	–	$1{,}4 \cdot 10^{-6}$
100	$2{,}8 \cdot 10^{-6}$	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$	$4{,}7 \cdot 10^{-7}$	–	$2{,}4 \cdot 10^{-7}$
150	$1{,}9 \cdot 10^{-6}$	$7{,}9 \cdot 10^{-7}$	$3{,}1 \cdot 10^{-7}$	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$
250	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	$4{,}7 \cdot 10^{-7}$	$1{,}9 \cdot 10^{-7}$	$7{,}8 \cdot 10^{-8}$	$1{,}5 \cdot 10^{-8}$
600	$4{,}7 \cdot 10^{-7}$	$2{,}0 \cdot 10^{-7}$	$7{,}9 \cdot 10^{-8}$	$3{,}4 \cdot 10^{-8}$	$6{,}4 \cdot 10^{-9}$
900	$3{,}1 \cdot 10^{-7}$	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$	$5{,}2 \cdot 10^{-8}$	$2{,}2 \cdot 10^{-8}$	$4{,}2 \cdot 10^{-9}$
1200	$2{,}4 \cdot 10^{-7}$	$9{,}8 \cdot 10^{-8}$	$3{,}9 \cdot 10^{-8}$	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$	$3{,}2 \cdot 10^{-9}$

Примечание. Частота разгерметизации технологических трубопроводов с промежуточными значениями диаметра трубопроводов может быть определена путем линейной экстраполяции приведенных в табл. П2.2 значений.

Рекомендуемый метод определения удельных частот различных типов разгерметизации магистрального трубопровода

Удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода определяется следующим образом:

а) на основе статистических данных определяется базовая частота разгерметизации $\lambda_{ср}$. При отсутствии данных для вновь проектируемых магистральных трубопроводов допускается $\lambda_{ср}$ принимать равной:

$1{,}4 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1} \cdot$ м$^{-1}$ – для магистральных газопроводов;

$2{,}7 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1} \cdot$ м$^{-1}$ – для магистральных нефтепроводов;

б) выделяются рассматриваемые при проведении расчетов типы разгерметизации:

- для магистральных газопроводов:

$j = 1$ – проколы (трещины, точечные отверстия), определяемые как отверстия с диаметром 20 мм;

$j = 2$ – отверстия с диаметром, равным 10 % от диаметра магистрального трубопровода;

$j = 3$ – разрыв, определяемый как образование отверстия размером, равным диаметру магистрального трубопровода;

- для магистральных нефтепроводов:

$j = 1$ – «свищи» – отверстия с характерными размерами $0{,}3L_p/D$ (L_p – характерный размер продольной трещины, D – условный диаметр магистрального трубопровода), площадь дефектного отверстия – $0{,}0072S_0$ (S_0 – площадь поперечного сечения магистрального трубопровода);

$j = 2$ – трещины, характерный размер $0{,}75L_p/D$, площадь дефектного отверстия – $0{,}0448S_0$;

$j = 3$ – «гильотинный» разрыв, характерный размер $0{,}75L_p/D$, площадь дефектного отверстия – $0{,}179S_0$.

Допускается при соответствующем обосновании учитывать и другие типы разгерметизации;

в) рассматриваются шесть причин разгерметизации ($i = 1…6$ – табл. П2.3);

Таблица П2.3

Среднестатистическая относительная доля аварий, вызванных данной причиной, на магистральных трубопроводах

Причина		Среднестатистическая относительная доля аварии, вызванных данной причиной $f_{ijср}(m)$, %			
		Проколы (трещины), точечные отверстия	Отверстие	Разрыв	Всего
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	
$i = 1$	Внешнее воздействие	13,2/16,8	26,6/26,2	9,7/6,5	49,5
$i = 2$	Брак в строительстве, дефект материалов	10,6/11,3	4,7/4,6	1,2/0,6	16,5
$i = 3$	Коррозия	15,2/15,2	0,2/0,2	0/0	15,4
$i = 4$	Движение грунта, вызванное природными явлениями	1,8/2,2	2,2/2,2	3,3/2,9	7,3
$i = 5$	Ошибки оператора	3,0/3,0	1,6/1,6	0/0	4,6
$i = 6$	Прочие и неизвестные причины	6,5/6,5	0,2/0,2	0/0	6,7
	Итого	50,3/55,0	35,51/35,0	14,2/10,0	100

Примечание. В числителе приведены значения для магистральных газопроводов, в знаменателе – магистральных нефтепроводов.

г) удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для j-го типа разгерметизации на участке m трубопровода определяется по формуле

$$\lambda_j(m) = \lambda_{ср} \sum_{i=1}^{6} f_{ij}(m) / 100, \qquad (П2.1)$$

где $\lambda_{ср}$ – базовая частота разгерметизации магистрального трубопровода, год$^{-1}$ · м$^{-1}$; $f_{ij}(m)$ – относительная доля i-ой

причины разгерметизации для j-го типа разгерметизации на участке m магистрального трубопровода;

д) величины f_{ij} для различных типов разгерметизации для различных участков магистрального трубопровода определяются по формулам:

$$f_{1j} = f_{1jср} k_{тс} k_{зт} k_{ННБ} k_{пер1}; \quad (П2.2)$$

$$f_{2j} = f_{2jср} k_{бд}; \quad (П2.3)$$

$$f_{3j} = f_{3jср} k_{ктс} k_{кпз}; \quad (П2.4)$$

$$f_{4j} = f_{4jср} k_{дгд} k_{пер2}; \quad (П2.5)$$

$$f_{5j} = f_{5jср} k_{оп}; \quad (П2.6)$$

$$f_{6j} = f_{6jср}, \quad (П2.7)$$

где $k_{тс}$, $k_{зт}$, $k_{ННБ}$, $k_{пер1}$, $k_{бд}$, $k_{кпз}$, $k_{дгд}$, $k_{пер2}$, $k_{оп}$ – поправочные коэффициенты, определяемые по табл. П2.4 с учетом технических характеристик магистрального трубопровода.

Таблица П2.4

Поправочные коэффициенты к среднестатистической относительной доле аварий

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
Поправочный коэффициент $k_{тс}$, зависящий от толщины стенки трубопровода δ, мм	$k_{тс} = \exp[-0{,}275(\delta - 6)]$
Поправочный коэффициент $k_{зт}$, зависящий от минимальной глубины заложения трубопровода, м:	
менее 0,8	$k_{зт} = 1$
от 0,8 до 1	$k_{зт} = 0{,}93$
более 1	$k_{зт} = 0{,}73$
Поправочный коэффициент $k_{ННБ}$ для участков переходов, выполненных методом наклонно направленного бурения (далее – ННБ):	
на участках этих переходов	$k_{ННБ} = 0$
вне этих участков	$k_{ННБ} = 1$

Продолжение табл. П2.4

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
Поправочный коэффициент $k_{пер1}$ переходов через искусственные препятствия: на переходах через автодороги, железные дороги и инженерные коммуникации вне переходов либо с предусмотренными на них защитными футлярами (кожухи) из стальных труб с герметизацией межтрубного пространства	 $k_{пер} = 2$ $k_{пер} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{бд}$, учитывающий применение материалов и средств контроля при строительстве: для трубопроводов, построенных в соответствии с требованиями нормативных документов при использовании улучшенных материалов и дополнительных средств контроля при строительстве и последующей эксплуатации трубопроводов	 $k_{бд} = 1$ $k_{бд} = 0,07$
Поправочный коэффициент $k_{ктс}$, учитывающий влияние толщины стенки трубопровода, мм, на частоту разгерметизации по причине коррозии: менее 5 от 5 до 10 более 10	 $k_{ктс} = 2$ $k_{ктс} = 1$ $k_{ктс} = 0,03$
Поправочный коэффициент $k_{кпз}$, учитывающий влияние применяемых систем защиты от коррозии: для трубопроводов, построенных в соответствии с требованиями нормативных документов при использовании улучшенной системы защиты (тип и качество изоляционного покрытия, электрохимическая защита, внутритрубная диагностика и т. п.)	 $k_{кпз} = 1$ $k_{кпз} = 0,16$

Окончание табл. П2.4

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
Поправочный коэффициент $k_{дгд}$, зависящий от диаметра трубопровода D, мм	$k_{дгд} = \exp[-0{,}00156(D-274)]$
Поправочный коэффициент $k_{пер2}$, учитывающий прохождение трассы трубопровода через водные преграды и заболоченные участки: для водных преград для заболоченных участков при отсутствии переходов либо выполненных методом ННБ	 $k_{пер} = 5$ $k_{пер} = 2$ $k_{пер} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{оп}$, зависящий от диаметра трубопровода D, мм	$k_{оп} = \exp[-0{,}004(D-264)]$

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 П2.5

Частоты возникновения пожаров в зданиях

Объект	Частота возникновения пожара ($м^{-2} \cdot год^{-1}$)
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:

$$Q = aF^b, \qquad (П2.1)$$

где a, b – константы, определяемые для различных зданий по табл. П.2.6; F – площадь здания (помещения) производственного объекта, м^2.

Таблица П2.6

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. П2.6 рекомендуется для помещений площадью более 1000 м^2.

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.

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, вероятность 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 избыточным давлением 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 избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении при отсутствии мгновенного воспламенения $P = (1 - 0{,}2) \cdot 0{,}24 \cdot 0{,}2(1 - 0{,}6) \approx 0{,}015$.

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 с его последующим воспламенением		
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

Примечания:

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

2. Условная вероятность воспламенения принимается равной 1 в случае, если при пожароопасной ситуации в окружающее пространство поступает горючее вещество, нагретое до температуры самовоспламенения и выше, или указанное пространство характеризуется наличием постоянных источников зажигания этого горючего вещества.

На рис. П3.1–П3.3 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.

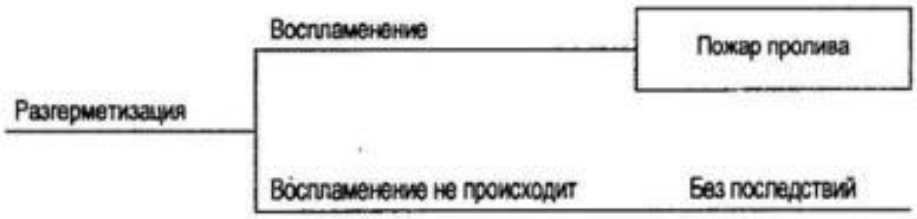


Рис. П3.1. Типовое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией единицы технологического оборудования (1-го аппарата) и истечением ГЖ

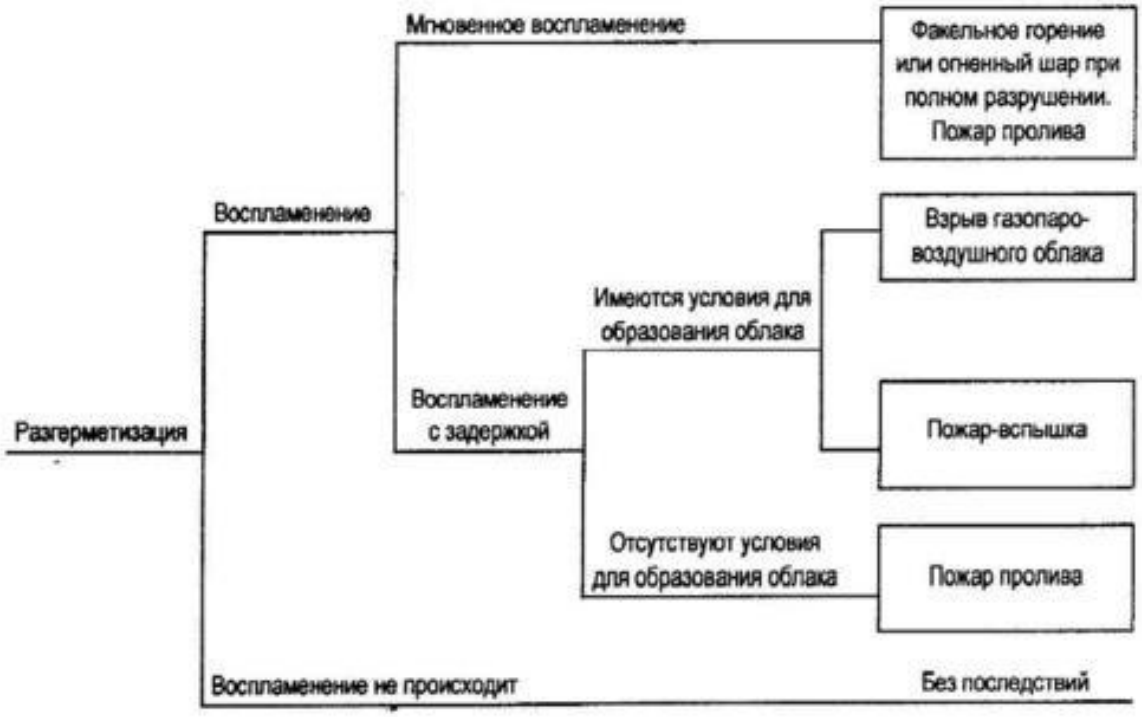


Рис. П3.2. Типовое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией единицы технологического оборудования (1-го аппарата) и истечением жидкой фазы или двухфазной смеси СУГ или ЛВЖ



Рис. П3.3. 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, указанной в прил. 2 к настоящему Пособию.

Учет возможности эскалации пожаров при определении величин пожарного риска является специфичной задачей для каждого конкретного объекта, поскольку определя-

ется особенностями и характеристиками системы противопожарной защиты, и при этом является необходимым. Примеры деревьев событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций с учетом возможности эскалации пожаров приведены в разд. 3 настоящего Пособия в примере для наружной установки.

Оценка влияния возможности эскалации пожара на значения пожарного риска для производственных объектов осуществляется при проведении расчетов по оценке пожарного риска путем рассмотрения дополнительных сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров). Тем самым при определении величин потенциального риска по формулам (1) и (3) методики [1] проводится суммирование по дополнительным сценариям.

При этом проведение расчетов по оценке пожарного риска для производственных объектов с учетом возможности эскалации пожара осуществляется с использованием метода логических деревьев событий 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. 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

инициирующего 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, а также 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, а также 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.

1. При невозможности определения времени перехода пожара на соседние участки при эскалации пожара, возникшего на наружной установке, допускается принимать его равным нулю.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. При определении условной вероятности перехода пожара на соседние участки необходимо учитывать следующие сопутствующие факторы инициирующего заданную стадию эскалации пожара, воздействие которых обусловливает 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.).

6. Условная вероятность перехода пожара на соседние участки $P_{эск}$ рассчитывается по формуле

$$P_{эск} = P_{кр}(1 - P_{эф}), \qquad (П3.1)$$

где $P_{кр}$ – условная вероятность достижения опасными факторами инициирующих 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 (системы пожаротушения и/или водяного орошения, водяные завесы, огнезащитные покрытия, огнепреграждающие устройства, системы сброса давления, защитные экраны и т. д.). При отсутствии данных условную вероятность эффективного срабатывания мероприятий по обеспечению пожарной безопасности допускается принимать равной нулю.

7. 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.

8. Условная вероятность $P_{кр}$ для случая распространения пожара на соседние участки по коммуникационным линиям также принимается равной 1 при отсутствии огнепреграждающих устройств.

9. 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

$$P_{кр} = \begin{cases} 1, \text{ если } q \geq q_{кр}, \\ 0, \text{ если } q < q_{кр}, \end{cases} \quad (П3.2)$$

где q – интенсивность теплового излучения на соседнем участке, кВт/м^2; $q_{кр}$ – критическая интенсивность теплового излучения для рассматриваемого вида оборудования или материала, кВт/м^2.

Для случая воздействия пожара на горючие вещества и материалы, обращающиеся на соседних участках $q_{кр}$ – это критическая интенсивность теплового излучения, при которой возможно воспламенение указанных горючих веществ и материалов. Значения $q_{кр}$ для этого случая принимаются на основе данных, приведенных в прил. 4 к методике [1] и нормативных документах по пожарной безопасности.

10. Для случая воздействия инициирующего пожара на располагаемое на соседних участках технологическое оборудование и металлические конструкции $q_{кр}$ – это критическая интенсивность теплового излучения, при которой наступает потеря прочности металла. В этом случае $q_{кр}$ определяется на основании результатов испытаний соответствующего оборудования и конструкций. При отсутствии данных допускается принимать $q_{кр}$ для технологического оборудования и металлических конструкций равной 15 кВт/м^2.

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

$$P_{кр} = \begin{cases} 1, \text{ если } \Delta P \geq \Delta P_{кр}, \\ 0, \text{ если } \Delta P < \Delta P_{кр}, \end{cases} \quad (П3.3)$$

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 $P_{кр}$ для случая воздействия волны избыточного давления на здания и сооружения, располагаемые на соседних участках, определяется с помощью пробит-функции по формулам (П6.7) и (П6.8) прил. 6 к настоящему Пособию.

В соответствии с методикой [1] условная вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара принимается исходя из статистических данных, публикуемых в научно-техническом журнале «Пожарная безопасность» или по паспортным данным завода-изготовителя оборудования.

Рекомендуемые сведения по условной вероятности эффективного срабатывания (выполнения задачи) некоторых систем противопожарной защиты, необходимые для построения деревьев событий при возникновении и развитии пожароопасных ситуаций, приведены в табл. П.3.2.

Таблица П3.2

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

Окончание табл. П3.2

Система противопожарной защиты	Условная вероятность эффективного срабатывания
- 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 (в случае отсутствия 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 прил. 5 к настоящему Пособию.

I. Истечение жидкости и газа

Истечение жидкости

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

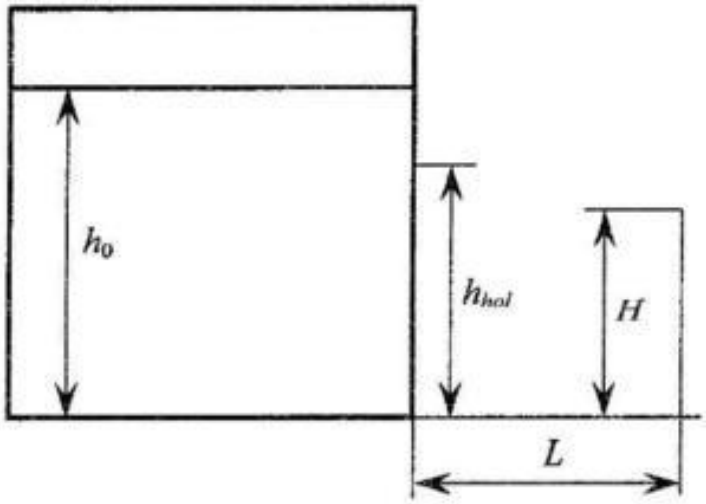


Рис. П.4.1. Схема для расчета истечения жидкости из отверстия в резервуаре

Вводятся следующие допущения [1]:

- истечение через отверстие однофазное;
- резервуар имеет постоянную площадь сечения по высоте;

- диаметр резервуара намного больше размеров отверстия;

- размеры отверстия намного больше толщины стенки;

- поверхность жидкости внутри резервуара горизонтальна;

- температура жидкости остается постоянной в течение времени истечения.

Массовый расход жидкости G, кг/с, через отверстие во времени t, с, определяется по формуле

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

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

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

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, g = 9,81, м/с^2; μ – коэффициент истечения; A_{hol} – площадь отверстия, м^2; h_{hol} – высота расположения отверстия, м; A_R – площадь сечения резервуара, м^2; h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м.

Высота столба жидкости в резервуаре h, м, в зависимости от времени t определяется по формуле

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

Условие перелива струи жидкости (при $h_0 > h_{hol}$) через обвалование определяется по формуле

$$h_{hol} \geq H + \frac{L}{\mu}, \qquad (П4.4)$$

где H – высота обвалования, м; L – расстояние от стенки резервуара до обвалования, м.

Количество жидкости m, кг, перелившейся через обвалование за полное время истечения, определяется по формуле:

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

где t_{pour} – время, в течение которого жидкость переливается через обвалование, с (т. е. время, в течение которого выполняется условие (П4.4)).

Величина t_{pour} определяется по формуле

$$t_{pour} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \qquad (П4.6)$$

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

- сверхкритическое истечение:

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

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

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, м^2; μ – коэффициент истечения (при отсутствии данных допускается принимать равным 0,8); ρ_V – плотность газа в резервуаре при давлении P_V, кг/м^3.

Истечение сжиженного газа из отверстия в резервуаре

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

$$G_V = \mu A_{hol}\sqrt{\left(\frac{P_c M}{RT_c}\right)P_c\left(0{,}167P_R^5 + 0{,}534P_R^{1{,}95}\right)}, \qquad \text{(П4.15)}$$

где μ – коэффициент истечения; A_{hol} – площадь отверстия, м^2; P_c – критическое давление сжиженного газа, Па; M – молярная масса, кг/моль; R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(К · моль); T_c – критическая температура сжиженного газа, К; $P_R = P_V/P_c$ – безразмерное давление сжиженного газа в резервуаре; P_V – давление сжиженного газа в резервуаре, Па.

Массовую скорость истечения паровой фазы можно также определять по формулам (П4.11)–(П4.14).

Массовая скорость истечения жидкой фазы G_L, кг/с, определяется по формуле

$$G_L = G_V \frac{\sqrt{\left(\frac{\rho_L}{\rho_V}\right) P_R}}{(1,22 T_R^{3/2})}, \qquad \text{(П4.16)}$$

где ρ_L – плотность жидкой фазы, кг/м^3; ρ_V – плотность паровой фазы, кг/м^3; $T_R = T/T_c$ – безразмерная температура сжиженного газа; T – температура сжиженного газа в резервуаре, К.

Формулы (П4.15) и (П4.16) рекомендуется использовать при $0,1 \le P_R \le 0,9$. При иных значениях P_R для расчета величины массовой скорости истечения сжиженного газа рекомендуется использование формулы (П4.10).

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

$$\begin{cases} \dfrac{\partial h}{\partial t} + \dfrac{\partial}{\partial x}\left[(h - h_G)u\right] = 0, \\ \dfrac{\partial u}{\partial t} + \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{u^2}{2} + gh\right) = 0, \end{cases} \qquad \text{(П4.17)}$$

где h – высота столба жидкости над фиксированным уровнем, м; h_G – высота подстилающей поверхности над фиксированным уровнем, м; u – средняя по высоте скорость движения столба жидкости, м/с; x – координата вдоль направления движения жидкости, м; t – время, с; g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2.

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

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

$$u\big|_{x=0} = 0; \qquad \text{(П4.19)}$$

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

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

где a – высота обвалования.

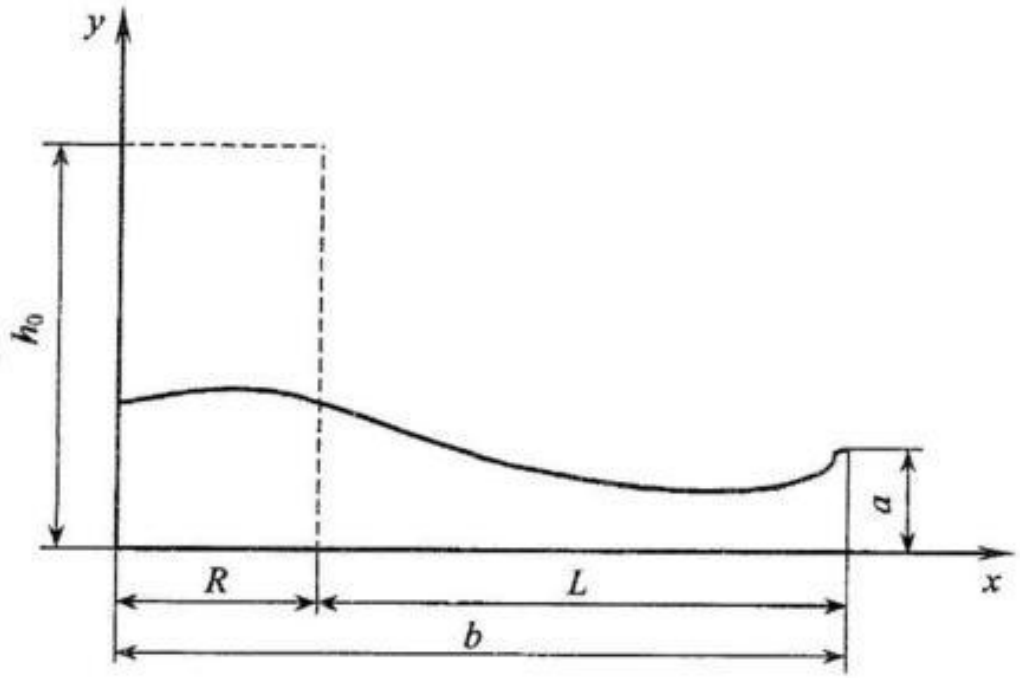


Рис. П4.2. Типичная картина движения жидкости в обваловании при квазимгновенном разрушении резервуара:

------ уровень начального столба жидкости;

——— уровень жидкости в промежуточный момент времени (результаты расчета)

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

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

где u_N – средняя по высоте скорость движения столба жидкости при $x = b$, м/с; h_N – высота столба жидкости при $x = b$, м; h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м; R – ширина резервуара, м.

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

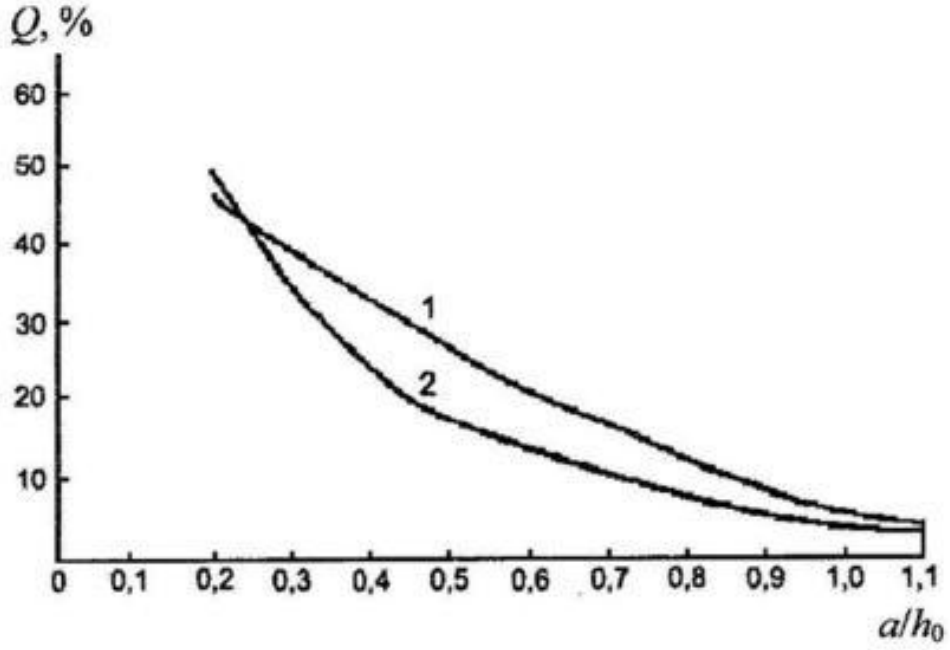


Рис. П4.3. Зависимость доли перелившейся через обвалование жидкости Q от параметра a/h_0: 1 – расчет; 2 – эксперимент

Также масса перелившейся через обвалование жидкости может быть рассчитана по следующей формуле:

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

где M_0 и M_p – масса пролитой и перелившейся жидкости соответственно, 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 пре-

вышает 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

$$m_a = \rho_L V_R, \qquad (П4.23)$$

где m_a – масса жидкости, кг; ρ_L – плотность жидкости, кг/м^3; V_R – объем жидкости в резервуаре, м^3.

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

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

где

$$G_L = \mu \frac{\pi}{4} d_p^2 \sqrt{2 \rho_L \Delta P_R} , \qquad (П4.25)$$

где

$$\Delta P_R = h_L \rho_L g , \qquad (П4.26)$$

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 м/с^2.

При проливе на неограниченную поверхность площадь пролива жидкости $F_{пр}$, м^2, определяется по формуле

$$F_{пр} = f_р V_ж , \qquad (П4.27)$$

где $f_р$ – 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); $V_ж$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м^3.

Масса паров ЛВЖ, выходящих через дыхательную арматуру

8. В случае наполнения резервуара масса паров определяется по формуле

$$m_V = \rho_V V_R P_н / P_0 , \qquad (П4.28)$$

где

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

где m_V – масса выходящих паров ЛВЖ, кг; ρ_V – плотность паров ЛВЖ, кг/м^3; $P_н$ – 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 м^3/кмоль; t_0 – расчетная температура, °С.

Масса паров ЛВЖ при испарении со свободной поверхности в резервуаре

9. Масса паров ЛВЖ при испарении со свободной поверхности в резервуаре определяется по формуле

$$m_V = G_V \tau_E, \qquad (П4.30)$$

где G_V – расход паров ЛВЖ, кг/с, который определяется по формуле

$$G_V = F_R W, \qquad (П4.31)$$

где τ_E – время поступления паров из резервуара, с; F_R – максимальная площадь поверхности испарения ЛВЖ в резервуаре, м^2; W – интенсивность испарения ЛВЖ, кг/(м^2 · с) (определяется в соответствии с разд. VIII настоящего приложения).

III. Максимальные размеры взрывоопасных зон

10. Радиус $R_{НКПР}$, м, и высота $Z_{НКПР}$, м, зоны, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее – НКПР), при неподвижной воздушной среде определяются по формулам:

- для горючих газов (далее – ГГ):

$$R_{НКПР} = 7{,}8\left(\frac{m_г}{\rho_г C_{НКПР}}\right)^{0{,}33}; \qquad (П4.32)$$

$$Z_{НКПР} = 0{,}26\left(\frac{m_г}{\rho_г C_{НКПР}}\right)^{0{,}33}; \qquad (П4.33)$$

- для паров ЛВЖ:

$$R_{НКПР} = 7{,}8\left(\frac{m_п}{\rho_п C_{НКПР}}\right)^{0{,}33}; \qquad (П4.34)$$

$$Z_{НКПР} = 0{,}26\left(\frac{m_п}{\rho_п C_{НКПР}}\right)^{0{,}33}, \qquad (П4.35)$$

где $m_г$ – масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг; $\rho_г$ – плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м^3; $m_п$ – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения, указана в п. 6 настоящего приложения, кг; $\rho_п$ – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа; $C_{НКПР}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров, % (об.).

За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают геометрический центр пролива, а в случае, если

$R_{НКПР}$ меньше габаритных размеров пролива, – внешние габаритные размеры пролива.

При необходимости может быть учтено влияние различных метеорологических условий на размеры взрывоопасных зон.

IV. Определение параметров волны давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака

11. Методика количественной оценки параметров воздушных волн давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака (далее – облако) распространяется на случаи выброса горючих газов, паров или пыли в атмосферу на производственных объектах.

Основными структурными элементами алгоритма расчетов являются:

- определение ожидаемого режима сгорания облака;
- расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных волн давления для различных режимов;
- определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;
- оценка поражающего воздействия.

Исходными данными для расчета параметров волн давления при сгорании облака являются:

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

$$E = \begin{cases} M_т E_{уд}, & C_г \le C_{ст}, \\ M_т E_{уд} \dfrac{C_{ст}}{C_г}, & C_г > C_{ст}. \end{cases} \qquad (П4.36)$$

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

Окончание табл. П4.1

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
		амиловый изобутиловый изопропиловый Циклогексан Этилформиат Этилхлорид Сжиженный природный газ Кумол Печной газ Циклопропан Этиламин	

14. При оценке масштабов поражения волнами давления должно учитываться различие химических соединений по теплоте сгорания, используемой для расчета полного запаса 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		Водород	2,73
Ацетилен	1,10	Нитрометан	0,25
Метилацетилен	1,05	Окись пропилена	0,70
Винилацетилен	1,03	**Класс 2**	
Окись этилена	0,62	Этилен	1,07
Гидразин	0,44	Диэтилэфир	0,77
Изопропилнитрат	0,41	Дивинилэфир	0,77
Этилнитрат	0,30	Окись пропилена	0,70

Окончание табл. П4.2

Классы горючих веществ	β	Классы горючих веществ	β
Акролеин	0,62	Пиридин	0,77
Сероуглерод	0,32	Циклопропан	1,00
Бутан	1,04	Этиламин	0,80
Бутилен	1,00	Метилацетат	0,53
Бутадиен	1,00	Метилбутилкетон	0,79
1,3-Пентадиен	1,00	Метилпропилкетон	0,76
Этан	1,08	Метилэтилкетон	0,71
Диметилэфир	0,66	Этилформиат	0,46
Диизопропиловый эфир	0,82	Этилхлорид	0,43
ШФЛУ	1,00	Сжиженный природный газ	1,00
Пропилен	1,04	Печной газ	0,09
Пропан	1,05	Генераторный газ	0,38
Акрилонитрил	0,67	**Класс 4**	
Класс 3		Метан	1,14
Винилхлорид	0,42	Трихлорэтан	0,14
Сероводород	0,34	Метилхлорид	0,12
Ацетон	0,65	Бензол	0,88
Кумол	0,84	Декан	1,00
Метиламин	0,70	Додекан	1,00
Циклогексан	1,00	Метилбензол	1,00
Ацетальдегид	0,56	Метилмеркаптан	0,53
Октан	1,00	Окись углерода	0,23
Винилацетат	0,51	Дихлорэтан	0,25
Бензин	1,00	Дихлорбензол	0,42
Гексан	1,00	Аммиак	0,42
Спирт метиловый	0,52	Дизтопливо	1,00
Спирт этиловый	0,62	Керосин	1,00
Спирт пропиловый	0,69	Нафталин	0,91
Спирт изопропиловый	0,69	Фенол	0,92
Спирт изобутиловый	0,79	Хлорбензол	0,52
Изооктан	1,00	Этилбензол	0,90

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. В зависимости от загроможденности окружающего пространства выделяют четыре класса:

класс I – наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой существует возможность формирования 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 разделяют 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

$$u = k_1 M^{1/6}, \qquad (П4.37)$$

где k_1 – константа, равная 43; M – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг;

класс 6 – дефлаграция, скорость фронта пламени определяется по формуле

$$u = k_2 M^{1/6}, \qquad (П4.38)$$

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 классов 2–4 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.

Рекомендуется производить расчет избыточного давления до значений, не превышающих 3 кПа (см. табл. П6.1 прил. 6 к настоящему Пособию).

Класс 1 режима сгорания облака

19. Рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по формуле

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3}, \qquad (П4.39)$$

где R – расстояние от центра облака, м; P_0 – атмосферное давление, Па; E – эффективный энергозапас смеси, Дж.

Величины безразмерного давления P_x и импульс фазы сжатия I_x определяются по формулам (для газопаровоздушных смесей)

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

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

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:

$$\Delta P = P_x P_0; \qquad (П4.42)$$

$$I^+ = I_x P_0^{2/3} E^{1/3} / C_0. \qquad (П4.43)$$

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:

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

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

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

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:

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

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

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

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

$$E_{eff} = kC_p m(T - T_b), \qquad \text{(П4.50)}$$

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

$$T = \frac{B}{A - \lg P_{val}} - C_A + 273{,}15, \qquad \text{(П4.51)}$$

где P_{val} – давление срабатывания предохранительного устройства; A, B, C_A – константы уравнения зависимости давления насыщенных паров жидкости от температуры (константы Антуана), определяемые по справочной литературе. Единицы измерения P_{val} (кПа, мм рт. ст., атм) должны соответствовать используемым константам Антуана.

VI. Интенсивность теплового излучения

22. В настоящем разделе приводятся методы расчета интенсивности теплового излучения от пожара пролива на поверхность, огненного шара, а также радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки.

Пожар пролива

23. Интенсивность теплового излучения q, кВт/м^2, для пожара пролива ЛВЖ, ГЖ, сжиженного природного газа (далее – СПГ) или СУГ определяется по формуле

$$q = E_f F_q \tau, \qquad (П4.52)$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м^2; 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 нефти и нефтепродуктов допускается величину E_f, кВт/м^2, определять по формуле

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

где d – эффективный диаметр пролива, м.

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	
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 или более 50 м следует принимать E_f такой же, как и для очагов диаметром 10 и 50 м соответственно.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину E_f, кВт/м^2, определять по формуле

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

где m' – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м^2 · с); $H_{сг}$ – удельная теплота сгорания, кДж/кг; L – длина пламени, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину m', кг/(м^2 · с), определять по формуле

$$m' = \frac{0,001 H_{сг}}{L_g + C_p\left(T_b - T_a\right)}, \qquad (П4.53.2)$$

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

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H{}^2}\,, \qquad (П4.54)$$

где F_V, F_H – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в секторе 90° в направлении наклона пламени, по следующим формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi}\left\{-E\operatorname{arctg}D + E\left[\frac{a^2+(b+1)^2-2b(1+a\sin\theta)}{AB}\right]\times\right.$$

$$\times\operatorname{arctg}\left(\frac{AD}{B}\right)+\frac{\cos\theta}{C}\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{ab-F^2\sin\theta}{FC}\right)+\right.$$

$$\left.\left.+\operatorname{arctg}\left(\frac{F^2\sin\theta}{FC}\right)\right]\right\}; \qquad (П4.55)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi}\left\{\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{D}\right)+\frac{\sin\theta}{C}\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{ab-F^2\sin\theta}{FC}\right)+\right.\right.$$

$$\left.+\operatorname{arctg}\left(\frac{F^2\sin\theta}{FC}\right)\right]-\left[\frac{a^2+(b+1)^2-2(b+1+ab\sin\theta)}{AB}\right]\times$$

$$\left.\times\operatorname{arctg}\left(\frac{AD}{B}\right)\right\}; \qquad (П4.56)$$

$$a = \frac{2L}{d}; \qquad (П4.57)$$

$$b = \frac{2X}{d}; \qquad (П4.57.1)$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1)\sin\theta)}; \qquad (П4.57.2)$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1)\sin\theta)}; \qquad (П4.57.3)$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1)\cos^2\theta)}; \qquad (П4.57.4)$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)}; \qquad (П4.57.5)$$

$$E = \frac{a\cos\theta}{b - a\sin\theta}; \qquad (П4.57.6)$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)}, \qquad (П4.57.7)$$

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, рад.

Для площадок, расположенных вне указанного сектора, а также в случае отсутствия ветра факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок рассчитываются по формулам (П4.55)–(П4.57.7) и П4.59.1, принимая $\theta = 0$.

Эффективный диаметр пролива d, м, рассчитывается по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \qquad (П4.58)$$

где F – площадь пролива, м^2.

Длина пламени L, м, определяется по формулам:

- при $u_* \geq 1$

$$L = 55d\left(\frac{m'}{\rho_a\sqrt{gd}}\right)^{0,67} u_*^{0,21}; \qquad (П4.59)$$

- при $u_* < 1$

$$L = 42d\left[\frac{m'}{\rho_a\sqrt{gd}}\right]^{0,61}; \qquad (П4.59.1)$$

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m'gd}{\rho_п}}}, \qquad (П4.60)$$

где m' – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м$^2 \cdot$ с); ρ_a – плотность окружающего воздуха, кг/м^3; $\rho_п$ – плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м^3; w_0 – скорость ветра, м/с; g – ускорение свободного падения (9,81 м/с^2).

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

$$\cos\theta = \begin{cases} 1, \text{ при } u_* < 1, \\ u_*^{-0,5}, \text{ при } u_* \geq 1. \end{cases} \qquad (П4.61)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяется по формуле

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

Огненный шар

24. Интенсивность теплового излучения q, кВт/м^2, для огненного шара определяется по формуле (П4.52).

Величина E_f определяется на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать E_f равной 350 кВт/м^2.

Значение F_q определяется по формуле

$$F_q = \frac{D_S^2}{4(H^2 + r^2)}, \qquad (П4.63)$$

где H – высота центра огненного шара, м; D_S – эффективный диаметр огненного шара, м; r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр огненного шара D_S, м, определяется по формуле

$$D_S = 6,48m^{0,325}, \qquad (П4.64)$$

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

Величину H допускается принимать равной D_S.

Время существования огненного шара t_S, с, определяется по формуле

$$t_S = 0,852m^{0,26}. \qquad (П4.65)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывается по формуле

$$\tau = \exp\left[-7,0\cdot10^{-4}\left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_S}{2}\right)\right]. \qquad (П4.66)$$

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

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

где $R_{\text{НКПР}}$ – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, определяемый по п. 10 настоящего приложения.

VIII. Испарение жидкости и СУГ из пролива

26. Интенсивность испарения W, кг/(м^2 · с), для ненагретых жидкостей определяется по формуле

$$W = 10^{-6}\eta\sqrt{M}P_{\text{н}}, \qquad \text{(П4.68)}$$

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; $P_н$ – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

Таблица П4.5

Скорость воздушного потока, м/с	Значение коэффициента η при температуре t, °С, 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

$$P_н = 10^{\left(A - \frac{B}{t_р + C_A}\right)}, \qquad (П4.68.1)$$

где A, B, C_A – константы уравнения Антуана; $t_р$ – расчетная температура, °С.

В прил. 1 к настоящему Пособию приведены константы уравнения Антуана для некоторых наиболее распространенных ЛВЖ и ГЖ. В формуле (П4.68.1) 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

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

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 парокапельное облако.

При $\delta < 0{,}35$ оставшаяся часть жидкости испаряется с поверхности пролива за счет потока тепла от подстилающей поверхности и воздуха.

Интенсивность испарения жидкости со свободной поверхности W, кг/(м^2 · с), определяется по формуле

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

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/м^3; 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; ν_a – кинематическая вязкость воздуха при T_0, м^2/с.

IX. Размеры факела при струйном горении

28. При струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ и СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением возникает опасность образования диффузионных факелов.

Длина факела L_F, м, при струйном горении определяется по формуле

$$L_F = KG^{0,4}, \qquad (П4.71)$$

где G – расход продукта, кг/с; K – эмпирический коэффициент, который при истечении сжатых газов принимается равным 12,5, при истечении паровой фазы СУГ или СПГ равным 13,5, при истечении жидкой фазы СУГ и СПГ, ЛВЖ и ГЖ 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

$$D_F = 0,15L_F. \qquad (П4.72)$$

29. При проведении оценки пожарной опасности горящего факела при струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ, СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением допускается принимать следующее:

- зона непосредственного контакта пламени с окружающими объектами определяется размерами факела;
- длина факела L_F не зависит от направления истечения продукта и скорости ветра;
- наибольшую опасность представляют горизонтальные факелы, условную вероятность реализации которых следует принимать равной 0,67;
- поражение человека в горизонтальном факеле происходит в секторе 30° с радиусом, равным длине факела;
- воздействие горизонтального факела на соседнее оборудование, приводящее к его разрушению (каскадному развитию аварии), происходит в секторе 30°, ограниченном радиусом, равным L_F;
- за пределами указанного сектора на расстояниях от L_F до $1,5L_F$ тепловое излучение от горизонтального факела составляет 10 кВт/м^2;

- тепловое излучение от вертикальных факелов может быть определено по формулам (П4.52), (П4.54)–(П4.57.7) и (П4.62), принимая L равным L_F, d равным D_F, θ равным 0, а E_f по формулам (П4.53)–(П4.53.2) или табл. П4.4 в зависимости от вида топлива. При отсутствии данных и невозможности рассчитать E_f по представленным формулам допускается эту величину принимать равной 200 кВт/м^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 (сектор 30°, ограниченный радиусом, равным L_F);

- при мгновенном воспламенении струи газа возможность формирования волн давления допускается не учитывать.

X. Пожар в котловане

При разрыве подземного газопровода может реализоваться горение относительно низкоскоростного вертикального или наклонного шлейфа («колонны») газа, образовавшегося в результате смешения двух струй газа, истекающих из концов разорвавшегося трубопровода в едином грунтовом котловане (как правило, в «твердых» грунтах с высокой связностью) [17].

В данном случае пламя пожара моделируется в виде цилиндрического твердого теплового излучателя. Геометрические параметры пламени (длина цилиндра пламени $L_{\text{ф}}^{(\text{ц})}$, м; эффективный диаметр очага пожара $D_{\text{эф}}^{(\text{ц})}$, м, определяются путем решения следующей системы уравнений относительно переменных $L_{\text{ф}}^{(\text{ц})}$ и $D_{\text{эф}}^{(\text{ц})}$:

$$L_{\text{ф}}^{(\text{ц})} = 0,23Q_{\text{ф}}^{0,4} - 1,02D_{\text{эф}}^{(\text{ц})}; \qquad \text{(П4.73)}$$

$$D_{\text{эф}}^{(\text{ц})} = 0,5L_{\text{ф}}^{(\text{ц})}; \qquad \text{(П4.74)}$$

$$Q_{\text{ф}} = GQ_{\text{н}}^{\text{т}}, \qquad \text{(П4.75)}$$

где $Q_{\text{ф}}$ – общее тепловыделение пожара, кВт; $Q_{\text{н}}^{\text{т}}$ – низшая теплота сгорания метана, кДж/кг; G – суммарный массовый расход газа при его аварийном истечении из двух концов разрушенного газопровода на заданный момент времени t (отсчет времени – от момента разрушения газопровода) или его осреднение за заданный промежуток времени Δt, кг/с.

Угловой коэффициент облученности для данного вида горения рассчитывается по формулам:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \qquad \text{(П4.76)}$$

где F_V, F_H – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, которые определяются по формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{S}\operatorname{arctg}\left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}}\right) - \frac{h}{S}\left\{\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right)\right\}\right]; \qquad \text{(П4.77)}$$

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

$$\left. - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right)\right]; \qquad \text{(П4.78)}$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}; \qquad (П4.79)$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2S}; \qquad (П4.80)$$

$$S = \frac{2r}{d}; \qquad (П4.81)$$

$$h = \frac{2H}{d}, \qquad (П4.82)$$

где r – расстояние от геометрического центра пожара в котловане до облучаемого объекта, м; $d = D_{эф}^{(ц)}$, м.

XI. Горение двух струй газа

При разрыве подземного газопровода может реализоваться горение двух свободных высокоскоростных струй газа (настильных, т. е. с углом наклона оси факела к горизонту не более 8°–10°, или наклонных, т. е. с углом наклона к горизонту более 8°–10°), истекающих из двух концов (плетей) разрушенного трубопровода, вырванных их грунта (как правило, из «слабонесущего» грунта с низкой вязкостью) на поверхность земли [17].

В данном случае пламя пожара моделируется в виде усеченного конуса, наклонного или горизонтального. Для критических условий ($M = 1$ – число Маха) аварийного истечения газа из одного из концов разрушенного участка газопровода (в аварийном выходном сечении участка трубопровода) (индекс «Е») устанавливаются следующие газодинамические параметры потока (скорость, плотность и давление):

$$u_E = a_E = \left[\frac{2k}{k+1} RT_0\right]^{1/2}; \qquad (П4.83)$$

$$\rho_E = \rho_E(t) = \frac{G_i}{a_E f_E}; \qquad (П4.84)$$

$$P_E = P_E(t) = \frac{2}{k+1}\rho_E(t)RT_0, \qquad (П4.85)$$

где u_E – скорость газа в аварийном сечении трубопровода, м/с; P_E – давление в аварийном сечении трубопровода, Па; ρ_E – плотность в аварийном сечении трубопровода, кг/м^3; a_E – местная скорость звука, м/с; $f_E = (\pi d_0^2)/4$ – площадь поперечного сечения трубы, м^2; G_i – массовый расход газа для соответствующей струи ($i = 1$ – первая, $i = 2$ – вторая), кг/с.

Для правомерности использования формул (П4.83)–(П4.85) необходимо проверить выполнение условия $P_E \geq P_a$, где P_a – атмосферное давление, Па. Если данное условие не выполняется, то истечение газа происходит в дозвуковом режиме, размеры зоны загазованности небольшие и ими можно пренебречь по сравнению с размерами зон, наблюдающимися при звуковом истечении.

После выходного сечения на определенном участке (в пределах нескольких диаметров трубы) при превышении статическим давлением на срезе трубы атмосферного давления происходит изоэнтропическое расширение газа с разгоном потока до сверхзвуковых скоростей ($M > 1$) и формированием системы скачков уплотнения (без изменения расходных характеристик в образующемся струйном течении). Для данного участка течения характерна существенная неравномерность потока. При этом за счет действия скачков уплотнения происходит потеря полного давления. В конце данного участка давление в поперечной плоскости течения выравнивается и становится равным атмосферному. Данное сечение в газовой динамике получило название «изобарическое сечение нерасчетной струи» или «ударная плоскость».

В ударной плоскости (индекс s) значение газодинамического параметра скорости – числа λ_S определяется как

$$\lambda_S = 1 + \frac{P_E - P_a}{\rho_E u_E^2}. \qquad (П4.86)$$

Значения температуры, числа Маха, плотности и диаметра эквивалентного сечения струи в ударной плоскости приведены ниже:

$$T_S = T_0\left(1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda_S^2\right); \qquad (П4.87)$$

$$M_S = \frac{\lambda_S a_E}{\sqrt{kRT_S}}; \qquad (П4.88)$$

$$\rho_S = \frac{P_a}{RT_S}; \qquad (П4.89)$$

$$D_{эф}^{(стр)} = d_0\sqrt{\frac{\rho_E}{\rho_S M_S}}. \qquad (П4.90)$$

Общая длина струи определяется по формуле (П4.73) с учетом заданной интенсивности истечения G_i.

Отрыв факела пламени от среза разорванной трубы (отверстия) h, м, определяется по формуле

$$h = 0,2L_{ф}^{(стр)}. \qquad (П4.91)$$

Длина видимой части пламени (высота усеченного конуса) R_L, м, определяется по формуле

$$R_L = L_{ф}^{(стр)} - h. \qquad (П4.92)$$

Ширина малого основания усеченного конуса W_1, м, определяется по формуле

$$W_1 = 15d_0\left[1 - \left[1 - \frac{1}{15}\left(\frac{\rho_в}{\rho_г}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right], \qquad (П4.93)$$

где $\rho_в$ – плотность воздуха при $P_а$ и 293 К, кг/м^3; $\rho_г$ – плотность газа в стандартных условиях, кг/м^3.

Ширина большого основания усеченного конуса W_2, м, определяется по формуле

$$W_2 = 0,26L_ф^{(стр)}. \qquad (П4.94)$$

Общая длина настильной струи (т. е. горизонтальной струи с источником выброса на уровне земли) рассчитывается по формуле

$$L_{ф\text{-наст}}^{(стр)} = 1,2L_ф^{(стр)}. \qquad (П4.95)$$

Угловой коэффициент облученности для данного вида горения рассчитывается по формулам (П4.76)–(П4.82), принимая во внимание, что $d = D_{эф}^{(стр)}$, м, и $H = L_ф^{(стр)}$, м.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОТ НАЧАЛА ПОЖАРА ДО БЛОКИРОВАНИЯ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НА НИХ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА И РАСЧЕТНОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ

I. Метод определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара

Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара определяется путем выбора из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара минимального времени:

$$\tau_{бл} = \min\left\{t_{кр}^{T},\ t_{кр}^{п.в},\ t_{кр}^{O_2},\ t_{кр}^{т.г}\right\}. \qquad (П5.1)$$

Критическая продолжительность пожара по каждому из опасных факторов определяется как время достижения этим фактором критического значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола. Критические значения по каждому из опасных факторов составляют:

по повышенной температуре – + 70 °С;

по тепловому потоку – 1400 Вт/м^2;

по потере видимости – 20 м;

по пониженному содержанию кислорода – 0,226 кг · м$^{-3}$;

по каждому из токсичных газообразных продуктов горения: CO_2 – 0,11 кг · м$^{-3}$; CO – $1{,}16 \cdot 10^{-3}$ кг · м$^{-3}$; HCl – $23 \cdot 10^{-6}$ 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 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:

$$t_{кр}^{T} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0) Z} \right] \right\}^{1/n} ; \qquad (П5.2)$$

- по потере видимости:

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

- по пониженному содержанию кислорода:

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

- по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{кр}^{т.г} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[\left(1 - \frac{VX}{BLZ} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n} ; \qquad (П5.5)$$

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

где t_0 – начальная температура воздуха в помещении, °С; B – размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг; n – показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени; A – размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего вещества и площадь пожара, кг/с^n; 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, м^3; α – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации; E – начальное освещение, лк; $l_{пр}$ – предельная дальность видимости в дыму, м; D_m – дымо-

образующая способность горящего материала, Нп · м^2/кг; L – удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг горючего вещества, кг/кг; X – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг/м^3; L_{O_2} – удельный расход кислорода, кг/кг.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. При отсутствии данных допускается свободный объем принимать равным 80 % геометрического объема помещения.

Если под знаком логарифма получается отрицательное число, то данный опасный фактор пожара не представляет опасности.

Параметр Z определяется по формуле

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

где h – высота рабочей зоны, м; H – высота помещения, м.

Высота рабочей зоны определяется по формуле

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

где $h_{пл}$ – 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

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

- для случая горения жидкости с неустановившейся скоростью

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

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

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

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

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

где Ψ_F – удельная массовая скорость выгорания вещества, кг/(м^2 · с); F – площадь пролива жидкости; $\tau_{ст}$ – время установления стационарного режима горения жидкости, с; v – линейная скорость распространения пламени, м/с; b – перпендикулярный к направлению движения пламени размер зоны горения, м.

При отсутствии данных значение $\tau_{ст}$ может быть принято в зависимости от температуры кипения жидкости [18]:

- для жидкостей с температурой кипения до 100 °С – 180 с;

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

- для жидкостей с температурой кипения более 150 °С – 360 с.

Случай факельного горения в помещении может рассматриваться как горение жидкости с установившейся скоростью с параметром A, равным массовому расходу истечения 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 $l_{пр}$ 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 $t_р$ 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 $t_р$ следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле

$$t_р = t_1 + t_2 + t_3 + ... + t_i, \qquad (П5.13)$$

где t_1 – время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин; t_2, t_3, ..., t_i – время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути t_i, мин, определяется по формуле

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

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

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

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

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

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

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).

Если значение q_i, определяемое по формуле (П5.16), меньше или равно q_{max}, то время движения по участку пути t_i, мин, равно

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

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.

Таблица П5.1

Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности потока

Плотность потока D, м^2/м^2	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q, м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость v, м/мин	Интенсивность q, м/мин		Скорость v, м/мин	Интенсивность q, м/мин	Скорость v, м/мин	Интенсивность 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

Примечание. Интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равная 8,5 м/мин, установлена для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины интенсивность движения следует определять по формуле $q_i = 2{,}5 + 3{,}75\delta$.

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

$$q_i \leq q_{max}. \qquad (П5.18)$$

При невозможности выполнения условия (П5.18) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i определяют по табл. П5.1 при значении $D = 0{,}9$ и

более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

Время задержки $t_{зад}$ движения на участке i из-за образовавшегося скопления людей на границе с последующим участком $(i+1)$ определяется по формуле

$$t_{зад}^{i} = Nf\left(\frac{1}{q_D\delta_{i+1}} - \frac{1}{q_i\delta_i}\right), \qquad (П5.19)$$

где N – количество людей, чел.; f – площадь горизонтальной проекции, м^2; 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 $t_{ск}$ на участке i определяется по формуле

$$t_{ск} = \frac{Nf}{q_D b_{i+1}}. \qquad (П5.20)$$

Расчетное время эвакуации по участку i, в конце которого на границе с участком $(i+1)$ образовалось скопление людей, равно времени существования скопления $t_{ск}$. Расчетное время эвакуации по участку i допускается определять по формуле

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

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

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

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.

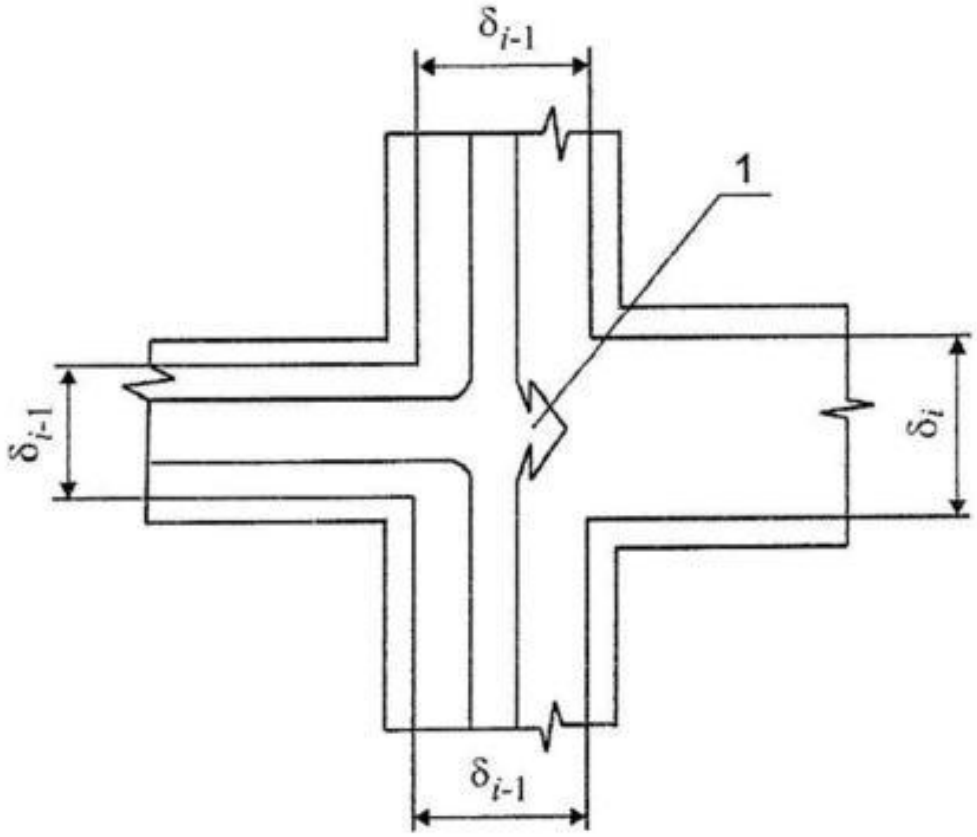


Рис. П5.1. Слияние людских потоков:
1 – начало участка i

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%-е 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

$$\Pr = a + b \ln S, \qquad (П6.1)$$

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 поражения, %	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

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

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

$$\Pr = 5,0 - 5,74 \ln S; \qquad (П6.3)$$

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

$$\overline{P} = \frac{\Delta P}{P_0}; \qquad (П6.5)$$

$$\overline{i} = \frac{I^+}{P_0^{1/2} m^{1/3}}, \qquad (П6.6)$$

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

$$\Pr = 5,0 - 0,26 \ln V; \qquad (П6.7)$$

$$V = \left(\frac{17\ 500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3}; \qquad (П6.8)$$

- для полного разрушения

$$\Pr = 5,0 - 0,22 \ln V; \qquad (П6.9)$$

$$V = \left(\frac{40\ 000}{\Delta P}\right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I^{+}}\right)^{11,3}. \qquad (П6.10)$$

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. Для оценки условной вероятности поражения людей, находящихся в селитебной зоне, а также на участках территории производственных объектов, характеризующихся наличием зданий и сооружений, 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

Окончание табл. П6.3

Материалы	$q_{св}$, кВт/м^2
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Картон серый	10,8
Декоративный бумажно-слоистый пластик	19,0–24,0
Металлопласт	24,0–27,0
Плита древесно-волокнистая	13,0
Плита древесно-стружечная	12,0
Плита древесно-стружечная с отделкой «Полиплен»	12,0
Плита древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева	12,0–16,0
Кожа искусственная	17,9–20,0
Стеклопластик на полиэфирной основе	14,0
Лакокрасочные покрытия	25,0
Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе	12,0
Линолеум ПВХ	10,0–12,0
Линолеум алкидный	10,0
Линолеум ПВХ на тканевой основе	6,0–12,0
Покрытие ковровое	4,0–6,0
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0
Легковоспламеняющиеся, горючие и трудногорючие жидкости при температуре самовоспламенения, °С:	
300	12,1
350	15,5
400	19,9
500 и выше	28,0 и выше

Таблица 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

Окончание табл. П6.4

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт/м^2
Непереносимая боль через 20–30 с Ожог 1-й степени через 15–20 с Ожог 2-й степени через 30–40 с	7,0
Непереносимая боль через 3–5 с Ожог 1-й степени через 6–8 с Ожог 2-й степени через 12–16 с	10,5

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается формулой

$$\Pr = -12{,}8 + 2{,}56\ln(tq^{4/3}), \qquad (П6.11)$$

где t – эффективное время экспозиции, с; q – интенсивность теплового излучения, кВт/м^2.

Величина эффективного времени экспозиции t определяется по формулам:

- для огненного шара

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

- для пожара пролива

$$t = t_0 + \frac{x}{u}, \qquad (П6.13)$$

где m – масса горючего вещества, участвующего в образовании огненного шара, кг; t_0 – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (может быть принято равным 5); x – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м^2); 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, оборудованной 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.

ЛИТЕРАТУРА

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) с изменениями (утверждены приказом МЧС России от 14 декабря 2010 г. № 649, зарегистрировано в Минюсте от 20.01.2011 г. № 19546).

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 от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

7. Пожароврывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2-х кн. / *А.Н. Баратов* [и др.]. М.: Химия, 1990.

8. *Монахов В.Т.* Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и жидкости. М.: ВНИИПО, 2007. 248 с.

9. Пособие по применению НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» при рассмотрении проектно-сметной документации / *Ю.Н. Шебеко* [и др.]. М.: ВНИИПО, 1998. 119 с.

10. *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

11. Расчет необходимого времени эвакуации людей из помещений при пожаре: рекомендации. М.: ВНИИПО, 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. IEC 61025:1990. Fault Tree Analysis (гармонизированный национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.13-2005 «Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей»).

15. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (утверждены Госгортехнадзором России 10.07.01 № 30).

16. 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).

17. СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».

18. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа: рекомендации. М.: ВНИИПО, 2004. 96 с.

Уважаемые читатели!

В соответствии с Правилами разработки и введения в действие нормативных документов по пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России издает и распространяет:

- комплекты документов, необходимых для получения лицензии на проведение работ и (или) оказание услуг в области пожарной безопасности;
- нормативные, методические и справочные документы Государственной противопожарной службы;
- научно-технический журнал «Пожарная безопасность».

Кроме того, институт готов выполнить заявки на проведение экспертизы документов по пожарной безопасности;

Телефоны для справок:

(495) 521-95-67 • 521-78-59 • 521-94-70

— ♦ —

ПОСОБИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Редактор ***Е.Е. Архипова***
Технический редактор ***Е.С. Матюшкина***
Ответственный за выпуск ***Д.М. Гордиенко***

Подписано в печать 7.09.2012 г. Формат 60×84/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14,41. Т. – 200 экз. Заказ № 32.

Типография ФГБУ ВНИИПО МЧС России
мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха,
Московская обл., 143903