Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору



Серия 27

Декларирование промышленной безопасности и оценка риска

Выпуск 17

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВАХ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ»

gost.e-ecolog.ru

2016

Нормативные документы в сфере деятельности
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору

Серия 27
Декларирование промышленной безопасности
и оценка риска

Выпуск 17

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВАХ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ»

Москва
ЗАО НТЦ ПБ
2016

ББК 30н
Р85

Р85 **Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах». Серия 27. Выпуск 17.** — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. — 56 с.

ISBN 978-5-9687-0722-2.

Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» разработано в целях содействия соблюдению требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» и «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта» на основе и взамен аналогичного документа, утвержденного приказом Ростехнадзора от 13.05.2015 № 189.

В разработке Руководства принимали участие С.Г. Радионова, Б.А. Красных, С.А. Жулина, В.В. Козельский, Г.М. Селезнев, И.С. Ясинский (Ростехнадзор), А.С. Печеркин, М.В. Лисанов, А.А. Агапов, Д.В. Дегтярев, А.С. Софьин, А.В. Савина (ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности»), С.И. Сумской (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»), А.А. Швыряев (МГУ им. М.В. Ломоносова).

Руководство содержит рекомендации к обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей, образующихся в атмосфере при промышленных авариях на опасных производственных объектах.

ББК 30н

ISBN 978-5-9687-0722-2



© Оформление. Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 июня 2016 г. № 217 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» 4

Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» 5

I. Общие положения 5

II. Общие рекомендации по обоснованию взрывоустойчивости 7

III. Основные показатели взрывоопасности 9

IV. Метод количественной оценки риска взрыва 10

Приложение № 1. Список сокращений и обозначений 26

Приложение № 2. Термины и определения 28

Приложение № 3. Пример расчета зон разрушения при взрыве на установке 32

Приложение № 4. Рисунки и таблицы 34

Приложение № 5. Примеры расчета показателей риска разрушения для обоснования взрывоустойчивости зданий 41

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ
И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
(РОСТЕХНАДЗОР)**

ПРИКАЗ

3 июня 2016 г. № 217

Москва

Об утверждении Руководства по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах»

В целях реализации Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401, приказываю:

1. Утвердить прилагаемое Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах».

2. Признать утратившим силу:

приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 мая 2015 г. № 189 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах».

Врио руководителя **А.Л. Рыбас**

Утверждено
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 3 июня 2016 г. № 217

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

«Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах»

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» (далее — Руководство по безопасности) разработано в целях содействия соблюдению требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных приказом Ростехнадзора от 11 марта 2013 г. № 96 (зарегистрирован Минюстом России 16 апреля 2013 г., регистрационный № 28138) (далее — Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств), и требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта», утвержденных приказом Ростехнадзора от 15 июля 2013 г. № 306 (зарегистрирован Минюстом России 20 августа 2013 г., регистрационный № 29581).

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации к обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей, образующихся в атмосфере при промышленных авариях на опасных производственных объектах.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

3. Настоящее Руководство по безопасности рекомендуется применять для определения зоны ударно-волнового воздействия и показателя риска разрушения зданий и сооружений при авариях со взрывами облаков ТВС.

4. Настоящее Руководство по безопасности рекомендуется применять при обеспечении требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов, в том числе при:

обосновании устойчивости зданий и сооружений к ударной волне;

разработке декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов;

разработке специальных технических условий на проектирование и строительство опасных производственных объектов;

иных работах, связанных с проведением количественного анализа риска аварийных взрывов.

5. Настоящее Руководство по безопасности не распространяется на оценку опасностей внутренних взрывов в помещениях и аппаратах (химических реакторах).

6. Организации, осуществляющие работы по обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений на опасных производственных объектах, могут использовать иные обоснованные способы и методы, чем те, которые указаны в настоящем Руководстве по безопасности.

7. В настоящем Руководстве по безопасности применяются сокращения и обозначения, а также термины и определения, приведенные в приложениях № 1* и 2 к настоящему Руководству по безопасности.

---

* Обозначения расшифрованы также в пояснениях к конкретным формулам. (*Примеч. изд.*)

II. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБОСНОВАНИЮ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ

8. Общие рекомендации по обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений основаны на методах:

моделирования и расчета аварийного истечения и распространения опасных веществ при всех возможных сценариях аварийной разгерметизации оборудования и воспламенениях облаков ТВС;

расчета зон разрушения при воздействии УВ при аварийных взрывах ТВС;

расчета показателей риска взрыва ТВС, включающих оценку частоты превышения амплитуды давления на фронте падающей УВ для каждого (при необходимости) здания, сооружения на территории размещения ОПО;

применения обоснованных критериев допустимого риска разрушения зданий и сооружений с учетом их типа (конструктивного исполнения).

9. Основные положения настоящего Руководства по безопасности соответствуют рекомендациям:

Руководства по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ», утвержденного приказом Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 158;

Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденного приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144;

Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденного приказом Ростехнадзора от 27 декабря 2013 г. № 646*.

10. При оценке последствий взрывов ТВС рекомендуется учитывать основные механизмы развития взрывных явлений, таких,

* Утратил силу на основании приказа Ростехнадзора от 29.06.2016 № 272. Действует документ с тем же наименованием, утвержденный этим приказом. (*Примеч. изд.*)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

как дрейф облака ТВС, режим взрывного превращения (дефлаграция (детонация)), воздействие взрыва для зданий и сооружений, в соответствии с Руководством по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утвержденным приказом Ростехнадзора от 31 марта 2016 г. № 137.

11. Основным показателем взрывоустойчивости зданий и сооружений является величина предельного давления на фронте падающей УВ $P_{пр}$, которую могут воспринять конструкции здания без потери ими несущей способности или пригодности к дальнейшей эксплуатации. Величину $P_{пр}$ для зданий рекомендуется определять по данным проектирования или эксплуатации, а для сооружений и технических устройств — согласно приложению № 3 к Общим правилам взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, Руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144.

12. Рекомендуется принимать во внимание, что взрывоустойчивость здания по критерию максимально возможной взрывной нагрузки при внешнем взрыве обеспечивается, если выполняется условие, при котором здание находится вне максимально возможной зоны действия УВ с амплитудой давления на фронте УВ, превышающей проектное давление:

$$P_{пр\,k} > \max(\Delta P_{ф\,n}), \qquad (1)$$

где $P_{пр\,k}$ — предельное (проектное) давление на фронте УВ, на которое рассчитано k-е здание ($k = 1, 2, ...$);

$\Delta P_{ф\,n}$ — давление на фронте падающей на здание УВ;

n — номер сценария ($n = 1, 2, ..., N$);

N — число сценариев со взрывом.

В случае невозможности выполнения условия (1) для обоснования взрывоустойчивости рекомендуется использовать результаты количественного анализа риска взрыва и вероятностный критерий,

согласно которому частота разрушения здания $R_{p\,k}$ в течение года не должна превышать допустимую величину $R_{доп}$:

$$R_{p\,k} < R_{доп}. \quad (2)$$

С учетом критериев допустимого пожарного риска для взрывопожароопасных производственных объектов и данных по условной вероятности гибели людей в разрушенных зданиях, приведенных в Общих правилах взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, рекомендуемая величина допустимой частоты воздействия взрыва на здание $R_{доп}$ не должна превышать 10^{-4} год$^{-1}$.

13. Для расчетов зон разрушения рекомендуется использовать:

Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ», утвержденное приказом Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 158 (расчет рассеяния и дрейфа облаков ТВС);

Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утвержденное приказом Ростехнадзора от 31 марта 2016 г. № 137.

Пример расчета зон разрушения при взрыве на установке приведен в приложении № 3 к настоящему Руководству по безопасности.

14. Для расчета последствий аварий с выбросом ОВ и взрывом облака ТВС в помещениях рекомендуется использовать методы вычислительной гидродинамики.

III. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЗРЫВООПАСНОСТИ

15. Для обоснования взрывоустойчивости зданий используются основные показатели взрывоопасности, приведенные в табл. № 1 *приложения* № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

Набор основных показателей взрывоопасности определяется в соответствии с целями работы, выбором методов и критериев, при-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

меняемых для обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений. Примеры расчета показателей риска разрушения для обоснования взрывоустойчивости зданий приведен в приложении № 5 к настоящему Руководству по безопасности.

Метод количественной оценки риска взрыва для обоснования взрывоустойчивости зданий приведен в разделе IV настоящего Руководства по безопасности.

IV. МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РИСКА ВЗРЫВА

16. Процедура обоснования взрывоустойчивости, основанная на количественной оценке риска взрыва, учитывает:

вероятность и последствия всех возможных сценариев выброса ОВ, приводящих к взрыву и воздействию избыточного давления УВ на здания;

тип зданий (устойчивость к УВ);

допустимую частоту $R_{доп}$ воздействия взрыва, приводящего к нарушению устойчивости (повреждению, разрушению) здания;

вероятностный критерий взрывоустойчивости здания — выполнение условия (2).

Блок-схема основных этапов количественной оценки риска взрыва для обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений приведена на рис. 1 приложения № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

17. Планирование и организация работ по анализу риска осуществляются в соответствии с разделом IV Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденного приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144. Для проведения работ по анализу риска привлекаются специалисты, аттестованные в области промышленной безопасности, с опытом экспертизы деклараций промышленной безопасности опасных производственных объектов.

18. При идентификации опасностей рекомендуется использовать следующие закономерности возникновения и развития аварий с выбросом ОВ.

18.1. Возникновение и развитие аварий обусловлены свойствами ОВ, условиями их содержания и характером выброса ОВ, объемом ОВ, окружающими условиями и своевременностью мер по локализации аварий. Следует также учитывать возможность каскадного развития аварий, различные стадии которых могут быть не связаны со взрывом ТВС, в соответствии с Руководством по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденным приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144.

Условно можно выделить два типа аварий, которые могут существенно отличаться вероятностями их возникновения:

аварии с полным разрушением оборудования, содержащего сжиженный газ или газ под давлением;

аварии, связанные с неполным разрушением оборудования, то есть с истечением вещества через образовавшееся дефектное отверстие.

Из аварий первого типа наиболее часто встречающиеся — это разрывы сосудов, содержащих газ под давлением. Также к этому типу аварий относятся разрушения сосудов, содержащих жидкие углеводороды или сжиженные газы. Такие разрывы происходят обычно под действием внешнего нагрева емкости в результате пожара, например, пролитого горючего. В этом случае авария может пойти по сценарию с образованием огненного шара (в иностранных источниках такой сценарий обычно обозначается BLEVE — вскипание паров кипящей, перегретой жидкости) или газового взрыва. Условная вероятность образования огненного шара (то есть вероятность его возникновения при попадании емкости в пожар) определяется на основе статистических данных, а при их отсутствии условная вероятность может приниматься равной 0,7.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

Второй тип аварии — истечение вещества через образовавшееся дефектное отверстие — наиболее вероятный. Он включает и разрывы трубопроводов, и истечение через неисправные вентили, и потери герметичности в результате внешнего воздействия, коррозии или превышения эксплуатационных норм. Многообразие сценариев определяется различием физических явлений для различного фазового состояния истекающего вещества. Анализ аварий показывает, что примерно 90 % аварий на трубопроводах происходит путем истечения вещества через отверстие, трещины и 10 % — путем полного разрыва (на полное сечение) трубопровода или образованием протяженной трещины в нем. Так, при выбросе горючей жидкости из резервуара при наличии источника воспламенения возможно ее мгновенное воспламенение (в том числе с образованием горящей струи) или воспламенение после образования разлитой лужи горючего вещества (пожар пролива). В случае факельного горения вероятностью барического воздействия на здания вне струи можно пренебречь.

18.2. Рекомендуется рассматривать следующие основные факторы опасности взрыва ТВС и причины возникновения аварий с выбросом и образованием ТВС:

изменение гидравлического сопротивления рабочих каналов (секций) технологического оборудования или соединительных трубопроводов, например, вследствие гидратообразования, парафино- и солеотложений, пенообразования газожидкостных потоков или залповых выбросов жидкости;

полная закупорка трубопроводов и арматуры ледяными и кристаллогидратными пробками;

эрозионный или коррозионный износ стенок проточной части оборудования, трубопроводов;

нарушение технологического режима работы оборудования, например неоправданное изменение термобарических параметров эксплуатации;

дефекты изготовления или монтажа оборудования;

наличие значительного числа переходов подземных трубопроводов в надземные, являющихся местами повышенной коррозионной активности и концентрации напряжений;

наличие большого числа арматуры, тройников, переходников, фасонных частей, то есть мест с усложненной технологией проведения строительно-монтажных работ, ухудшенным контролем качества сварных швов, повышенной концентрацией напряжений;

сложная пространственная стержневая конструкция надземных трубопроводов;

обвязки технологических аппаратов с большим числом жестких и скользящих опор, испытывающие значительные переменные температурные и газодинамические нагрузки;

ошибки на стадии проектных решений;

некачественный диагностический контроль и несвоевременное выполнение ремонтных работ по обеспечению герметичности трубопроводов, сосудов, аппаратов;

ошибки персонала при выполнении регламентных или ремонтных работ;

ошибочные действия операторов на стадиях пуска или аварийной остановки технологических линий;

вандализм, диверсии;

случайное повреждение оборудования транспортными средствами или летательными аппаратами;

недостатки в организации систематической работы по обучению и проверке знаний персонала по технике безопасности со стороны эксплуатирующей организации.

Анализ сценариев возникновения аварий со взрывом ТВС и оценку вероятности аварий, обусловленных указанными факторами и причинами, рекомендуется проводить с помощью методов деревьев отказов.

18.3. В качестве основных источников выброса ОВ и образования ТВС рассматриваются в том числе следующие технические устройства и сооружения:

а) сепарационное и емкостное оборудование:

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

нарушение герметичности оборудования вследствие его коррозии, эрозии, износа уплотнительных элементов фланцевых соединений;

забивание твердыми частицами фильтрующих или сепарационных элементов, приводящее к увеличению гидравлического сопротивления соответствующих секций и нарушению гидрозатвора в системе слива отсепарированной жидкости;

чрезмерное (бесконтрольное) увеличение гидравлического сопротивления отдельных секций аппаратов, приводящее к их деформации и поломке;

нарушение крепления внутренних перегородок аппаратов вследствие отсутствия контровки крепежных соединений;

нарушение работоспособности предохранительных клапанов, деформация и обрыв патрубков их крепления;

отказ средств контроля и регулирования;

б) теплообменное оборудование:

парафино- и солеотложения в трубном (межтрубном) пространстве, отложения кристаллогидратов и льда в рабочих полостях и каналах, приводящие к снижению проходного сечения или закупорке каналов;

нарушение герметичности фланцевых соединений вследствие износа уплотнительных прокладок или коррозии фланцев;

нерасчетное изменение угла наклона лопастей вентилятора аппарата воздушного охлаждения;

в) ТДА:

дефекты изготовления и сборки, не выявленные в процессе испытаний;

ошибки эксплуатационного персонала: несоблюдение регламента на эксплуатацию ТДА при пусках, остановках или переключениях оборудования, несвоевременное реагирование на нерасчетные отклонения в режиме работы;

усиливающаяся или внезапная вибрация агрегата, причинами которой могут быть:

резонансные колебания деталей ротора;

солеотложения и усталостные разрушения деталей;

нарушение контровки крепежных соединений;

неравномерные по окружности зазоры в уплотнениях и подшипниках;

деформация фундаментных оснований при растеплении грунта;

дисбаланс ротора вследствие эрозионного износа деталей ротора и уплотнений;

г) насосно-компрессорное оборудование:

износ манжетных уплотнений и штоков дозировочных насосов вследствие загрязнения механическими примесями перекачиваемой жидкости;

износ торцевых уплотнений и рабочих колес, приводящий к потере герметичности и вибрации ротора;

износ или разрушение уплотнения диска колеса центробежного насоса;

пробой изоляции обмоток электродвигателя;

усталостное разрушение сепараторов подшипников качения;

износ упругих элементов соединительных муфт;

д) печи огневой регенерации:

солеотложения и коррозия поверхностей змеевиков, приводящие к прожогам;

е) запорная и регулирующая арматура:

коррозия и эрозия уплотнительной пары клиновых задвижек, приводящие к потере их герметичности;

эрозионный износ седел и конусов регулирующих клапанов вследствие наличия в рабочих потоках твердых примесей;

износ деталей сальникового уплотнения штока регулирующих клапанов;

разрыв мембраны пневмоприводных регулирующих клапанов;

потеря упругости или разрушение пружин пневмоприводных регулирующих клапанов и предохранительных клапанов;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

отказы электромеханических клиновых задвижек вследствие люфтов в зубчатой передаче редуктора, износа подшипников, кулачков и уплотняющих поверхностей.

В качестве основных причин аварий с разгерметизацией и возгоранием в зданиях производственных цехов с размещенными в них блоками сепарационного и емкостного оборудования могут рассматриваться:

неисправность или отсутствие предохранительных устройств;

ошибки персонала;

утечки газа или газового конденсата по местам уплотнения регуляторов расхода, фланцевым соединениям арматуры на линиях обвязки регуляторов расхода или датчиков измерения уровня жидкости;

утечки газа или газового конденсата при проведении ремонтных работ, например при замене негерметичных задвижек и кранов;

коррозия и эрозия стенок трубопроводов и аппаратов вследствие наличия в газе твердых и жидких примесей.

18.4. При определении сценариев аварий рекомендуется определить возможные физические проявления аварий на различных опасных составляющих, технологических блоках, единицах оборудования, участках трубопроводов, содержащих ОВ, ОПО, а затем на основе их анализа выявить наиболее характерные пути развития аварий и сформировать расчетные сценарии.

Возможные физические проявления аварий на составляющих ОПО определяются прежде всего взрыво- и (или) пожароопасностью обращаемых ОВ. С учетом этого основными физическими проявлениями аварий и сопровождающими их поражающими факторами на ОПО являются следующие:

а) разрыв технологического трубопровода или разрушение емкости, аппарата, установки с газом (жидкостью) под давлением с выбросом (истечением) и воспламенением газа и образованием струевых пламен или колонного пожара с распространением вблизи места аварии поражающих факторов:

осколков (фрагментов трубы);

воздушной волны сжатия, образующейся в начальные моменты истечения сжатого газа в атмосферу;

скоростного напора струи газа, прямого воздействия пламени, теплового излучения от пламени;

б) разрыв технологического газопровода или разрушение емкости, аппарата, установки истечением природного газа в атмосферу, его рассеиванием, образованием зоны загазованности и последующим задержанным воспламенением и дефлаграционным сгоранием газовоздушной смеси;

в) утечки газа (жидкости) внутри производственного помещения с образованием взрывоопасной газовоздушной смеси, воспламенением смеси и ее взрывным превращением по дефлаграционному типу с образованием волны сжатия и пожара колонного типа в загроможденном пространстве;

г) взрыв ТВС в емкостях с газовым конденсатом, метанолом, дизельным топливом, бензином с последующим разливом и воспламенением горючих жидкостей и последующим горением в виде пожара разлития с распространением вблизи места аварии поражающих факторов в виде:

осколков емкостей, воздушной волны сжатия, прямого воздействия пламени и теплового излучения от пламени;

утечки горючей термодинамически стабильной жидкости (стабильного газового конденсата, дизельного топлива, турбинного масла, бензина, метанола) из емкости, резервуара, технологического трубопровода с образованием лужи разлития и испарением жидкости с поверхности разлива;

воспламенения паров жидкости от какого-либо источника зажигания, находящегося вблизи лужи разлития с возникновением воздушной волны сжатия, образующейся при взрывном сгорании смеси, прямого воздействия пламени при сгорании облака ТВС и теплового излучения от пламени пожара разлития;

утечки термодинамически нестабильной жидкости (газового конденсата, хладагента (пропана, пропан-бутана)) из технологического трубопровода, емкости, резервуара, насоса с образовани-

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

ем лужи разлития с интенсивным испарением легких фракций с поверхности разлития с образованием, рассеиванием и переносом паров продукта (тяжелее воздуха) вблизи поверхности земли по направлению ветра;

воспламенения взрывопожароопасного облака от источника зажигания (автомобиля с работающим двигателем, неисправного электрооборудования или открытого источника огня) как на территории промплощадки, так и вне ее с возникновением воздушной волны сжатия, образующейся при сгорании ТВС, прямого воздействия пламени при сгорании облака ТВС и от пожара разлития, теплового излучения от пламени пожара разлития.

Факторы, определяющие сценарии развития и последствия аварии, приведены в табл. № 2 приложения № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

18.5. Процедуру формирования расчетных сценариев для каждой заранее выделенной составляющей на ОПО выполняют с использованием метода построения деревьев событий согласно Руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144, и Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Ростехнадзора от 27 декабря 2013 г. № 646. Исходным событием каждого дерева является событие «А» — разгерметизация (разрыв) элемента (единицы оборудования) опасной составляющей (для технологических трубопроводов — m-го участка), при этом событие «А» может иметь дальнейшее развитие в зависимости от типа рассматриваемых составляющих групп сценариев. При этом каждый узел (разветвление) дерева событий должен отражать «вмешательство» в ход событий одного из учитываемых влияющих («задающих») факторов. После учета при построении дерева событий всех заранее заданных влияющих факторов полу-

чившееся на выходе дерева общее число конечных ветвей соответствует общему числу $I \times J$ расчетных сценариев аварий на m-м элементе n-й составляющей, образующих полную группу несовместных событий.

19. Оценка риска взрыва ТВС включает оценку последствий различных сценариев аварий с выбросом ОВ с оценкой массы ОВ и расчетом показателей риска разрушения зданий при взрыве ТВС.

Алгоритм оценки риска взрыва ТВС приведен на рис. 2 приложения № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

19.1. Исходные данные по частотам выброса ОВ при разгерметизации оборудования, условной вероятности воспламенения ТВС приведены в Руководстве по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденном приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144.

19.2. При оценке последствий взрывных процессов учитываются не только их тип (горение (детонация)) и масса топлива во взрывоопасных пределах, но и расстояние дрейфа, на котором в облаке ТВС могут сохраняться взрывоопасные концентрации.

При оценке последствий взрывных процессов с учетом дрейфа облака ТВС рекомендуется рассматривать зажигание облака ТВС в различные моменты времени. При отсутствии информации по источникам зажигания рекомендуется рассматривать зажигание в момент времени, когда в облаке ТВС находится максимальная взрывоопасная масса M_r.

Расстояние дрейфа облака ТВС определяется как расстояние между источником выброса и центром масс облака ТВС. В случае одновременного дрейфа нескольких облаков ТВС отдельно друг от друга рассматриваются сценарии взрыва каждого облака ТВС.

Схема распространения первичного и вторичного облаков ТВС при аварийном выбросе вскипающих жидкостей приведена на рис. 3 приложения № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

Схема распространения вторичного облака ТВС при аварийном выбросе и испарении из пролива стабильных жидкостей (нефть,

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

бензин, дизельное топливо) приведена на рис. 4 приложения № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

19.3. При оценке количества ОВ, участвующих в аварии, учитывается, что размеры зон поражения существенно зависят от массы выброшенного вещества (массы, участвующей в аварии) Q и массы, участвующей в создании поражающего фактора (взрыва $Q_{вз}$).

В случае аварии со взрывом ТВС в величину массы, участвующей в создании поражающего фактора, входит масса вещества (горючего газа) $M_г$, которая непосредственно участвует во взрывном процессе и генерации волн. Эта масса газа $M_г$ может задаваться в качестве исходного параметра или определяться исходя из условий развития аварий согласно Руководству по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ», утвержденному приказом Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 158.

Масса выброса ОВ Q в случае полного разрушения единицы оборудования принимается с учетом момента времени обнаружения выброса, срабатывания противоаварийной защиты и массы ОВ, поступивших в окружающее пространство от смежных единиц оборудования (участков), технологических блоков в соответствии с Общими правилами взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, Руководством по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденным приказом Ростехнадзора от 27 декабря 2013 г. № 646, и Руководством по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утвержденным приказом Ростехнадзора от 31марта 2016 г. № 137.

В случае частичного разрушения оборудования масса Q определяется путем интегрирования интенсивности выброса по времени от момента начала выброса до момента его завершения.

Учет метеорологических факторов и времени t_0, прошедшего с начала аварии, наиболее актуален для дрейфа облака ТВС в атмосфере.

При выбросе в атмосферу масса $M_г$ будет меняться в зависимости от времени t_0, прошедшего с начала аварии, и в зависимости от расстояния от места выброса при движении выброса в поле ветра. В этом случае необходим учет метеорологических факторов, которые будут определять $M_г$.

19.4. Расчет параметров УВ и зон разрушения проводится согласно Руководству по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утвержденному приказом Ростехнадзора от 31марта 2016 г. № 137.

19.5. Для расчета показателей риска взрыва ТВС рекомендуется использовать следующие соотношения.

Условные вероятности $P(C_п|\text{А})$ реализации сценариев $C_п$ аварий с возгоранием и дрейфом облаков ТВС на рассматриваемом объекте следует рассчитывать по формуле

$$P(C_п|\text{А}) = P(G_s|\text{А})P(U_{\psi\varphi})P(\text{Se}_\nu)P(\text{КУ}|U_{\psi\varphi}\text{Se}_\nu)P_{\text{деф}}P(\text{И}|\text{А}), \qquad (3)$$

где $P(G_s|\text{А})$ — относительная частота реализации утечки продукта с интенсивностью G_s, находящейся в s-м из возможных диапазонов интенсивности истечения и зависящей от давления и размера отверстия разгерметизации (А — авария);

$P(U_{\psi\varphi})$ — относительная частота повторяемости в году скорости ветра $U_{\psi\varphi}$ в ψ-м диапазоне скоростей и φ-м географическом направлении (общее количество и размеры диапазонов скорости ветра, а также число учитываемых направлений ветра (румбов) задаются пользователем);

$P(\text{Se}_\nu)$ — относительная частота реализуемости сезона Se_ν в течение года, $P(\text{Se}_\nu) = 1$;

$P(\text{КУ}|U_{\psi\varphi}P(\text{Se}_\nu)$ — относительная частота реализуемости данного класса КУ атмосферы по Паскуиллу при скорости ветра в s-м диапазоне в ν-й сезон Se_ν;

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

$P_{\text{деф}}$ — условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при последующем воспламенении, $P_{\text{деф}} = f_{\text{п.в}} f_{\text{дефл}}$;

$f_{\text{п.в}}$ — условная вероятность отложенного воспламенения;

$f_{\text{дефл}}$ — условная вероятность взрыва;

$P(\text{И}_j | \text{А})$ — условная вероятность зажигания облака (И_j) j-м способом (в различные моменты времени) от источников зажигания, находящихся в пределах облака ТВС (в тех или иных ячейках расчетной области), ограниченного изолинией концентрации паров $C = C_{\text{ВКПВ}}$ и $C = C_{\text{НКПВ}}$; в случае зажигания единственным способом выбирается момент достижения максимально возможной взрывоопасной массы при заданных интенсивности истечения, метеопараметрах, сезоне. В случае если максимальная взрывоопасная масса существует на определенном участке дрейфа, при единственном варианте зажигания следует выбирать вариант воспламенения на максимальном удалении.

Частоту сценария C_n при разгерметизации выбранной единицы оборудования определяют по формуле

$$\lambda C_n = P(C_n|\text{А})\lambda_{\text{А}}, \qquad (4)$$

где $\lambda_{\text{А}}$ — частота аварии на выбранной единице оборудования.

Скорость ветра $U_{\psi\varphi}$ ($\psi = 1, ..., \psi$; ψ— общее число рассматриваемых скоростей ветра) реализуется по румбу φ ($\varphi = 1, ..., \Phi$; Φ — общее число румбов розы ветров, географических направлений) в течение года с $P(U_{\psi\varphi}) < 1$. Как правило, $\Phi = 4$; 8 или 16 с угловым сектором соответственно 90°; 45° или 22,5°.

Относительная частота $P(\text{КУ} \mid U_{\psi\varphi}\text{Se}_\nu)$ определяется на основе статистических данных по повторяемости характерных состояний

атмосферы (классы устойчивости атмосферы A, B, C, D, E, F по Паскуиллу) в зависимости от скорости ветра и времени года (сезона) в районе расположения ОПО.

При определении риска разрушения зданий рекомендуется для каждой точки территории найти частоту реализации сценариев $\Delta P_{\text{р}\,\Delta P_{\text{ф}}}(x, y)$, при которых имеет место превышение давления во фронте УВ $\Delta P_{\text{ф}}(x, y)$ определенной величины избыточного давления на фронте УВ $\Delta P_{\text{ф}}$:

$$R_{\text{р}\,\Delta P_{\text{ф}}}(x,y) = \sum_{n} \lambda_{C_n} \cdot P\left[\Delta P_{\text{ф}}(x,y) \geq \Delta P_{\text{ф}} \middle| C_n\right], \qquad (5)$$

где $P[\Delta P_{\text{ф}}(x, y) \geq \Delta P_{\text{ф}}|C_n]$ — вероятность превышения в точке с координатами (x, y) давления $\Delta P_{\text{ф}}$ во фронте УВ при реализации сценария C_n.

Суммирование осуществляется по всем сценариям C_n.

Для точек (x_j, y_j) территории, в которых расположены здания и сооружения, испытывающие взрывные нагрузки, строят зависимости частоты реализации избыточного давления $\Delta P_{\text{ф}}$ взрыва от $\Delta P_{\text{ф}}$:

$$F_{x_j,y_j}(\Delta P_{\text{ф}}) = R_{\text{р}\,\Delta P_{\text{ф}}}(x_j, y_j). \qquad (6)$$

Риск разрушения k-го здания, расположенного в точке территории с координатами (x_k, y_k), при условии, что его конструкции устойчивы к взрыву с давлением во фронте УВ $P_{\text{пр}\,k}$:

$$R_{\text{р}\,k} = F_{x_k,y_k}(P_{\text{пр}\,k}). \qquad (7)$$

20. Определение взрывоустойчивости анализируемых зданий проводится путем сравнения рассчитанных показателей риска с критерием допустимого риска согласно пункту 12 настоящего Руководства по безопасности.

21. Рекомендации по уменьшению риска взрыва ТВС (при необходимости) разрабатываются с учетом следующих положений.

21.1. Для повышения взрывоустойчивости зданий и сооружений рекомендуется учитывать следующие направления мероприятий:

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

уменьшение вероятности выбросов ОВ в соответствии с требованиями промышленной и пожарной безопасности (обоснование проектных решений, расчет нагрузок и воздействий, квалификация персонала, контроль и диагностирование при эксплуатации);

уменьшение размеров зон загазованности, включая:

а) ограничение разлива жидкости при возможных авариях (устройство обвалования, поддонов и других технических решений);

б) обоснованный выбор материалов и устройство поверхностей (твердых покрытий), снижающих скорость теплоотдачи, количество испарившейся жидкости;

в) размещение технологического оборудования на открытых этажерках и площадках;

уменьшение вероятности воспламенения облака ТВС, в том числе удаление источников зажигания (например, печей, факелов, электроаппаратуры) на безопасные расстояния по возможному дрейфу облака ТВС от источников выброса, применение взрывозащищенного оборудования;

удаление зданий и сооружений на безопасные расстояния;

укрепление зданий для повышения их устойчивости к опасным факторам взрыва ТВС.

21.2. Необходимые рекомендации по снижению риска взрыва ТВС разрабатываются в форме проектных решений или планируемых мероприятий обеспечения безопасности технического и (или) организационного характера.

Меры обеспечения безопасности должны уменьшать возможность и (или) смягчать тяжесть последствий возможных аварий. К приоритетным необходимым рекомендациям по снижению риска аварий относятся меры обеспечения безопасности, направленные преимущественно на предупреждение аварий (уменьшение возможности возникновения инцидентов и аварий).

Меры по уменьшению вероятности возникновения аварий включают:

а) меры по уменьшению вероятности возникновения инцидента;

б) меры по уменьшению вероятности перерастания инцидента в аварию.

Меры по уменьшению тяжести последствий аварий имеют следующие приоритеты:

а) меры, предусматриваемые при проектировании ОПО (например, выбор несущих конструкций, взрывозащитной преграды, запорной арматуры);

б) меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов);

в) меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий.

Основными мероприятиями по снижению риска выбросов ОВ на стадии эксплуатации являются:

а) проведение диагностики после завершения строительства;

б) повышенная частота проведения диагностики, мониторинг технического состояния;

в) применение современной системы обнаружения утечек;

г) контроль качества состава обращающихся веществ;

д) повышенные требования к качеству производства строительно-монтажных работ, включая контроль производства на заводе-изготовителе, заводских испытаний, доставки, погрузки (разгрузки), складирования, хранения, монтажа, испытаний;

е) проведение периодических испытаний на прочность и герметичность;

ж) повышение эффективности охраны;

з) ограничение площадей возможных аварийных разливов за счет возведения инженерных сооружений (обвалования);

и) увеличение объема контроля качества сварных стыков различными неразрушающими методами контроля.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

Приложение № 1
к Руководству по безопасности
«Методы обоснования взрывоустойчивости
зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных
смесей на опасных производственных объектах»
*от 3 июня 2016 г. № 217**

Список сокращений и обозначений

В настоящем Руководстве по безопасности применены следующие сокращения и обозначения:

ОВ — опасное вещество;

ОПО — опасный производственный объект;

ПГФ — парогазовая фаза;

ТВС — топливно-воздушная смесь;

ТДА — турбодетандерный агрегат;

УВ — ударная волна;

КУ — класс устойчивости;

$\lambda_А$ — частота аварии с выбросом опасного вещества, год$^{-1}$;

λ_{C_n} — частота развития аварии по сценарию C_n с возникновением взрыва, год$^{-1}$;

$\Delta P_ф$ — избыточное давление на фронте падающей УВ, Па;

$R_{р\Delta P_ф}(x,y)$ — потенциальный риск разрушения здания, находящегося на территории объекта с координатами (x, y), при воздействии на него УВ с избыточным давлением $\Delta P_ф$, год$^{-1}$;

$f_{дефл}$ — условная вероятность взрыва;

$f_{п.в}$ — условная вероятность отложенного воспламенения;

L — максимальная дальность дрейфа облака ТВС в направлении ветра, м;

L_- — максимальное расстояние распространения облака ТВС в направлении против ветра, м;

L' — расстояние от места выброса, на котором достигается максимальная ширина облака, м;

---

* Очевидно, пропущены слова «, утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору». (*Примеч. изд.*)

P — давление в оборудовании;

$P(G_s \mid A)$ — частота реализации утечки продукта с интенсивностью G_s;

$P(Se_v)$ — относительная частота реализуемости сезона Se_v в течение года, $P(Se_v) = 1$;

$P(U_{\psi\varphi})$ — относительная частота повторяемости в году скорости ветра, $U_{\psi\varphi}$;

$P(И \mid A)$ — условная вероятность зажигания облака хотя бы от одного источника зажигания;

$P(КУ \mid U_{\psi\varphi} Se_v)$ — относительная частота реализуемости данного КУ атмосферы по Паскуиллу при скорости ветра в s-м диапазоне в v-й сезон Se_v;

$P_{деф}$ — условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при последующем воспламенении, $P_{деф} = f_{п.в} f_{дефл}$;

Q — масса выброшенного вещества (масса, участвующая в аварии);

$Q_{вз}$ — масса, участвующая в создании поражающего фактора — взрыва;

R — граница зоны избыточного давления при взрыве ТВС;

r — полуширина облака ТВС;

R_L — максимальная дальность действия УВ, м;

$R_{L1, L2}$ — максимальный размер (от источника выброса) зоны поражения при взрыве с учетом дрейфа облака ТВС;

$R_{p\,k}$ — частота разрушения определенного k-го здания при воздействии взрыва, год$^{-1}$;

U — скорость ветра, м/с;

$M_г$ — масса облака ТВС в концентрационных пределах распространения пламени (между $C_{ВКПР}$ и $C_{НКПР}$).

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

Приложение № 2
к Руководству по безопасности
«Методы обоснования взрывоустойчивости
зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных
смесей на опасных производственных объектах»
*от 3 июня 2016 г. № 217**

Термины и определения

В настоящем Руководстве по безопасности применены следующие термины и определения.

Авария — разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Анализ риска взрыва (анализ риска разрушения при взрыве) — процесс идентификации опасностей взрыва при аварии и оценке риска разрушения зданий и сооружений.

Взрыв — неконтролируемый быстропротекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим изменением состояния вещества, приводящий к резкому динамическому повышению давления или возникновению УВ, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям.

Взрывобезопасность — состояние производственного процесса, при котором исключается недопустимый риск взрыва и поражения людей.

Взрывоустойчивость — свойство зданий и сооружений сохранять с заданной вероятностью устойчивость к взрывам от аварий на опасном производственном объекте.

Детонация — распространение взрыва по взрывчатому веществу, ТВС, обусловленное прохождением УВ с постоянной сверхзвуковой скоростью, обеспечивающей быструю химическую реакцию.

---

* Очевидно, пропущены слова «, утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору». (*Примеч. изд.*)

Дефлаграция — процесс дозвукового горения, при котором образуется быстро перемещающаяся зона (фронт) химических превращений. Передача энергии от зоны реакции в направлении движения фронта происходит за счет теплопередачи. Отличается от детонации, при которой зона превращений распространяется со сверхзвуковой скоростью и передача энергии происходит за счет ударного сжатия. Дефлаграция происходит при горении газовоздушных смесей, смесей типа воздух — бензин, а также при горении порохов или пиротехнических составов.

Зона воздействия взрыва (зона поражения или разрушения) — зона территориального распределения поражающего фактора взрыва вокруг места возникновения аварии, ограниченная изолинией установленного порогового значения избыточного давления, импульса, условной вероятности разрушения здания или иного параметра взрыва.

Идентификация опасностей аварий — процесс выявления и признания того, что опасности аварий на опасном производственном объекте существуют, и определения их характеристик.

Избыточное давление на фронте УВ $\Delta P_ф$ — амплитуда давления на фронте падающей УВ (воздушной волны сжатия) $P_ф$, образующейся при аварийном взрыве, относительно атмосферного давления $P_а$ без учета отражения от зданий, сооружений ($\Delta P_ф = P_ф - P_а$).

Импульс волны давления (импульс взрыва) — величина, характеризующая динамическое воздействие взрыва, в самом простом случае численно равная произведению избыточного давления продуктов взрыва на время его действия.

Ударная волна — распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью в газе, жидкости или твердом теле тонкая переходная область (фронт), в которой происходит резкое увеличение давления, плотности и температуры.

Основные факторы опасности взрыва — факторы, характеризующиеся одним или несколькими параметрами: максимальным давлением и температурой взрыва, скоростью нарастания давления при взрыве, давлением на фронте УВ (волны сжатия), дробящими и фугасными свойствами взрывоопасной среды.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

Оценка риска взрыва (оценка риска разрушения при взрыве) — процесс, используемый для определения вероятности (или частоты) возникновения взрыва при аварии и степени разрушения (взрывоустойчивости) зданий. Оценка риска включает анализ вероятности (или частоты), анализ последствий взрыва и их сочетания.

Риск — мера опасности, характеризующая возможность возникновения негативного события (взрыва) и тяжесть его последствий.

Риск взрыва — мера опасности взрыва, характеризующая возможность возникновения взрыва и степень разрушения зданий, сооружений при взрыве.

Основными показателями риска разрушения от взрыва при аварии на опасном производственном объекте являются:

частота возникновения взрыва (аварии со взрывом);

потенциальный риск разрушения при взрыве (частота превышения избыточного давления на фронте падающей УВ в рассматриваемой точке территории);

частота разрушения (повреждения определенной степени) здания при воздействии УВ при взрыве.

Допустимый риск аварии — установленные либо полученные согласно формализованной установленной процедуре значения риска аварии на опасном производственном объекте, превышение которых характеризует угрозу возникновения аварии.

Потенциальный риск разрушения при взрыве — частота воздействия взрыва, связанного с действием избыточного давления на фронте падающей УВ выше определенного уровня $\Delta P_{\text{ф}}$, на рассматриваемое здание, сооружение. Потенциальный риск разрушения при взрыве определяется зависимостью $R_{\text{р}\Delta P_{\text{ф}}}(x,y)$.

Распределение потенциального риска может отображаться в виде функций, табличном виде или графически, в том числе на ситуационных планах в виде изолиний (поля или контуров риска) одинаковых значений параметров взрыва (частот превышения определенного давления $\Delta P_{\text{ф}}$, давления $\Delta P_{\text{ф}}$ в каждой точке территории при заданной максимальной частоте воздействия).

Сценарий аварии — последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным инициирующим (исходным) событием, приводящих к определенным опасным последствиям аварии.

Ударная волна — распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью в газе, жидкости или твердом теле тонкая переходная область (фронт), в которой происходит резкое увеличение давления, плотности и температуры.

Поражающий эффект (эффект) — физическое, физико-химическое явление, приводящее к возникновению поражающих факторов аварии. Основные эффекты аварии — взрыв, огненный шар, пожар пролива, струевое горение.

Поражающий фактор аварии — термическое, барическое (ударно-волновое) и иные воздействия, связанные с возникновением аварий и способное привести к ущербу.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

Приложение № 3
к Руководству по безопасности
«Методы обоснования взрывоустойчивости
зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных
смесей на опасных производственных объектах»
*от 3 июня 2016 г. № 217**

Пример расчета зон разрушения при взрыве на установке

В резервуаре Е2 вместимостью 5000 м^3 находится пропан в газовой фазе при температуре 20 °С и давлении 2 атм. Резервуар расположен в равнинной местности. Рассматривается сценарий полного разрушения емкости Е2 с выбросом опасного вещества. Метеоусловия: температура окружающей среды 20 °С, скорость ветра 10 м/с, класс устойчивости атмосферы — нейтральная стратификация. Требуется определить зоны поражения ударной волной при взрыве и дрейфе облака ТВС.

Результаты расчета представлены на рис. 1 и в табл. № 1.

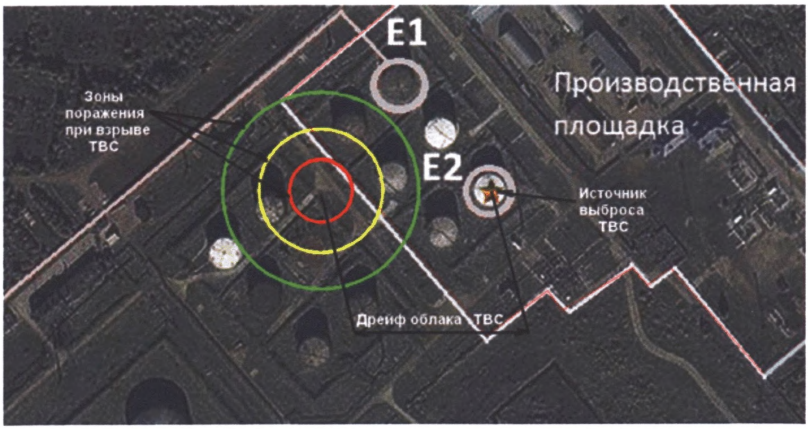


Рис. 1. Зоны поражения ударной волной при взрыве облака ТВС

* Очевидно, пропущены слова «, утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору». (*Примеч. изд.*)

Таблица № 1

№	Наименование изолинии	Радиус изолинии, м	Цвет изолинии
1	Взрыв ТВС: пропан $M = 753$ кг. Поражение избыточным давлением 14 кПа	219	
2	Взрыв ТВС: пропан $M = 753$ кг. Поражение избыточным давлением 28 кПа	138	
3	Взрыв ТВС: пропан $M = 753$ кг. Поражение избыточным давлением 70 кПа	81	

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

Приложение № 4
к Руководству по безопасности
«Методы обоснования взрывоустойчивости
зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных
смесей на опасных производственных объектах»
*от 3 июня 2016 г. № 217**

Рисунки и таблицы

Таблица № 1

Основные показатели взрывоопасности

Показатель	Характеристика
$\Delta P_ф$ — избыточное давление на фронте падающей УВ, Па	Параметр, определяющий воздействие (нагрузку) на здание
R — радиус зоны разрушения в результате воздействия УВ с избыточным давлением на фронте $\Delta P_ф$, м	Радиус отсчитывается от центра облака ТВС в момент его инициирования (зажигания). При отсутствии данных принимают, что точка зажигания размещена в центре облака с максимальной массой горючего во взрывоопасных пределах
L — максимальное расстояние дрейфа облака ТВС, м	Максимальное расстояние от точки выброса ОВ, на котором достигаются концентрации ТВС, при которых возможно воспламенение облака ТВС. При расчетах L определяется границей достижения нижнего концентрационного предела распространения пламени $C_{НКПР}$
R_L — максимальная дальность действия УВ, м	Максимальное расстояние от источника выброса, на котором достигается разрушение при определенном $\Delta P_ф$ в результате взрыва облака ТВС с учетом дрейфа

* Очевидно, пропущены слова «, утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору». (*Примеч. изд.*)

Показатель	Характеристика
λ_A — частота аварии с выбросом ОВ, год$^{-1}$	Включает сумму всех частот возможных случаев выброса опасных (горючих) веществ. Зависит от вида и количества оборудования на объекте
λ_{C_n} — частота развития аварии по сценарию C_n с возникновением взрыва, год$^{-1}$	Определяется частотой воспламенения облака ТВС, в том числе пожара-вспышки. При расчете λ_{C_n} не учитываются частоты пожара пролива, огненного шара, струевого горения и аварий без воспламенения
$R_{p\,\Delta P_\Phi}(x, y)$ — потенциальный риск разрушения здания, находящегося на территории объекта с координатами (x, y) при воздействии на него УВ с избыточным давлением ΔP_Φ, год$^{-1}$	Частота превышения заданного избыточного давления ΔP_Φ в рассматриваемой точке территории с координатами (x, y)
$R_{p\,k}$ — частота разрушения определенного k-го здания при воздействии взрыва, год$^{-1}$	Частота разрушения (повреждения) k-го здания с учетом типа рассматриваемого здания и $P_{пр\,k}$

Таблица № 2

Факторы, определяющие сценарии развития и последствия аварии

№ п/п	Фактор	Характер влияния
1	Диаметр эквивалентного отверстия истечения	Определяет интенсивность аварийного истечения ОВ
2	Компонентный состав ОВ	Определяет интенсивность истечения и испарения продукта, объем пролива
3	Время от момента разгерметизации до перекрытия аварийной секции	Влияет на продолжительность аварийного истечения и массу выброса ОВ
4	Давление в трубопроводе до аварии в месте разрыва	Влияет на интенсивность истечения ОВ

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

№ п/п	Фактор	Характер влияния
5	Размеры (площадь) лужи разлития жидкости	Определяют интегральную интенсивность испарения жидкости, задает форму и геометрические размеры пламени пожара
6	Температура грунта	Влияют на интенсивность испарения разлитой жидкости
7	Проницаемость грунта	
8	Скорость ветра	
9	Температура воздуха	
10	Метеорологические факторы: скорость и направление ветра, класс стабильности атмосферы, влажность воздуха	Влияют на особенности рассеивания и переноса паров в атмосфере, размеры облака; задают угол и направление наклона пламени при пожаре разлития (влажность воздуха определяет проницаемость атмосферы для тепловой радиации)
11	Шероховатость поверхности в районе места разрыва	Влияет на особенности переноса и рассеивания облака тяжелого газа
12	Распределение источников зажигания по территории, прилегающей к месту разрыва	Влияет на вероятность и момент воспламенения парового облака и, следовательно, на размеры зоны прямого огневого и барического воздействия
13	Ландшафтные (загроможденность пространства) и топографические условия в месте разрыва	Влияют на скорость (режим) сгорания паров и вероятность реализации дефлаграционного или близкого к детонационному режима сгорания облака тяжелого газа
14	Плотность промышленной и жилой застройки на прилегающих территориях	Определяет степень загроможденности, ограниченности пространства и тем самым влияет на скорость распространения фронта пламени и вероятность реализации дефлаграционного или детонационного режима сгорания облака

№ п/п	Фактор	Характер влияния
15	Распределение по территории вблизи места разрыва других опасных объектов	Влияет на вероятность реализации каскадного развития аварии
16	Степень оперативности действий персонала и аварийных служб по локализации аварий и зон их негативного воздействия	Влияет на развитие сценариев аварий, массу выброса ОВ и размеры зон поражения

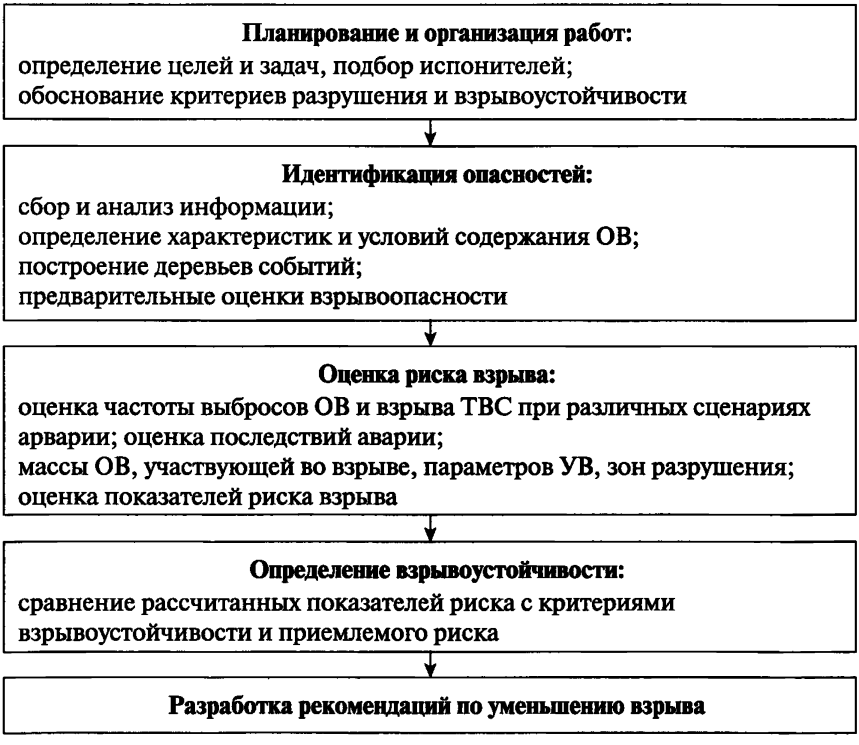


Рис. 1. Основные этапы количественной оценки риска взрыва для обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

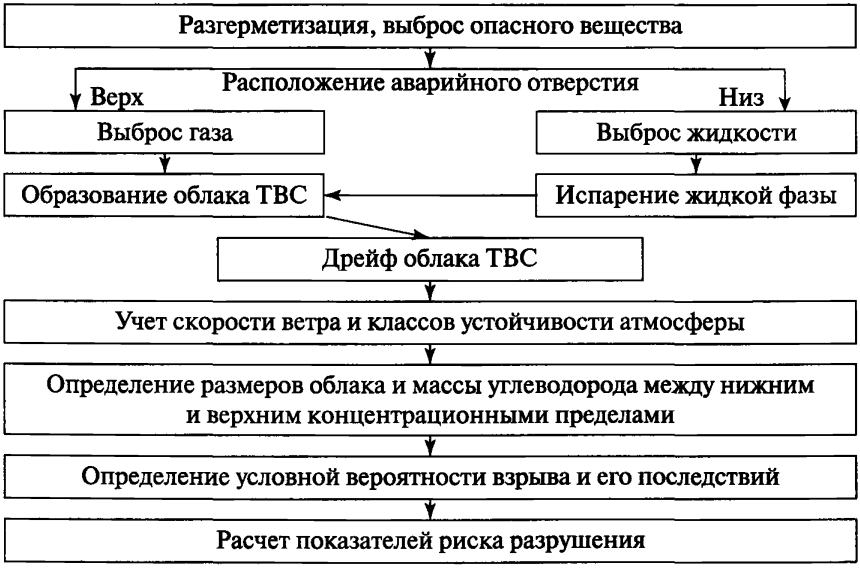


Рис. 2. Алгоритм оценки риска взрыва ТВС

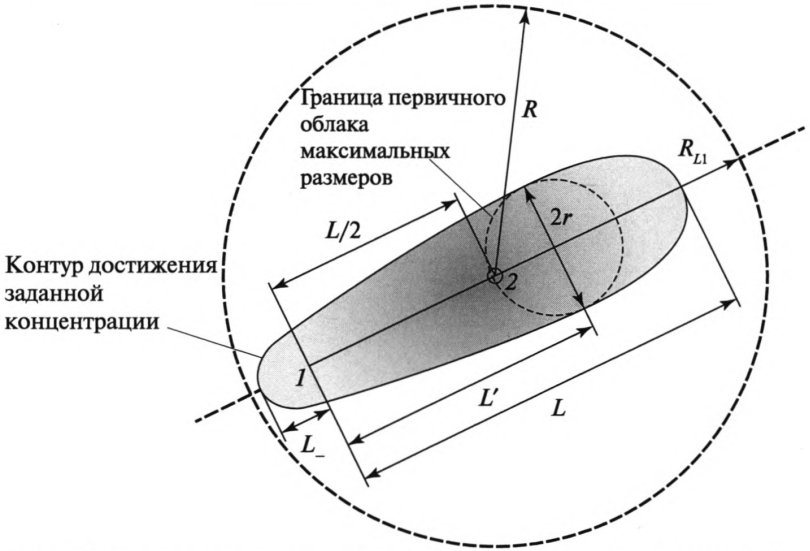


Рис. 3. Схема распространения первичного и вторичного облаков ТВС при аварийном выбросе вскипающих жидкостей:
1 — источник выброса опасного вещества; *2* — точка отсчета радиусов достижения избыточных (центр масс первичного и вторичного облаков); L — максимальная длина взрывоопасной зоны в направлении ветра; L_- — максимальная длина взрывоопасной зоны в направлении против ветра; L' – расстояние, на котором достигается максимальная ширина облака; r – полуширина первичного облака ТВС; R – радиус зоны разрушения; R_{L1} – максимальное расстояние от источника выброса, на котором достигается разрушение при определенном $\Delta P_ф$ в результате конкретного сценария со взрывом облака ТВС с учетом его дрейфа

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

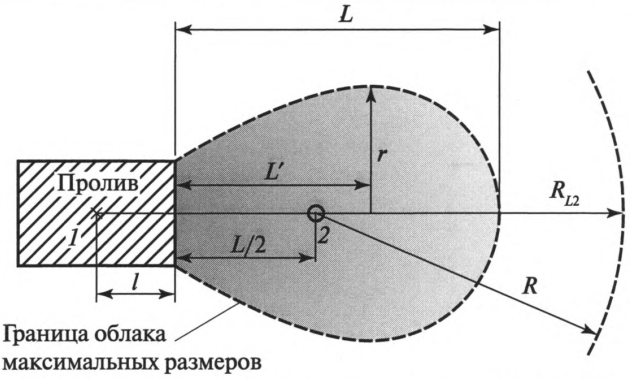


Рис. 4. Схема распространения вторичного облака ТВС при аварийном выбросе и испарении из пролива стабильных жидкостей (нефть, бензин, дизельное топливо):

1 — источник выброса опасного вещества; *2* — точка отсчета радиусов разрушения (центр масс вторичного облака);

L — максимальный размер взрывоопасной зоны дрейфа облака ТВС в направлении ветра; *l* — размер пролива в направлении ветра;

L′ — расстояние, на котором достигается максимальная ширина облака; *r* — полуширина облака ТВС; *R* – радиус разрушения;

R_{L2} — максимальное расстояние от источника выброса, на котором достигается разрушение при определенном $\Delta P_{\text{ф}}$ в результате конкретного сценария со взрывом облака ТВС с учетом его дрейфа

Приложение № 5
к Руководству по безопасности
«Методы обоснования взрывоустойчивости
зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных
смесей на опасных производственных объектах»
*от 3 июня 2016 г. № 217**

Примеры расчета показателей риска разрушения для обоснования взрывоустойчивости зданий

Представлены результаты оценки риска взрыва ТВС при разрушении колонны химико-технологической установки, содержащей углеводородные компоненты, для обоснования взрывоустойчивости зданий на ОПО.

В результате катастрофического разрушения (сценарий $С_{пр}$) без мгновенного загорания практически все содержимое парогазовой фазы колонны переходит в облако ТВС. При этом согласно термодинамическим расчетам Руководства по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ», утвержденного приказом Ростехнадзора от 20 апреля 2015 г. № 158, температура в облаке ПГФ за счет адиабатического процесса расширения уменьшается с 42 до 7,46 °С, масса ПГФ составляет 24,5 т. Жидкая фаза (ЖФ) (в нормальном технологическом режиме масса равна 76,85 т при температуре 95 °С) интенсивно вскипает. Состав ПГФ меняется, поскольку в пар переходят наиболее низкокипящие углеводороды (табл. № 5-1).

Таблица № 5-1

Состав ПГФ при аварийном выбросе

Компонент	Мольная доля в ПГФ	Мольная доля в ЖФ
C_2H_6	$6{,}300 \cdot 10^{-3}$	$4{,}186 \cdot 10^{-4}$
C_3H_8	$5{,}305 \cdot 10^{-1}$	$1{,}600 \cdot 10^{-1}$
n-C_4H_{10}	$3{,}916 \cdot 10^{-1}$	$5{,}196 \cdot 10^{-1}$
n-C_5H_{12}	$7{,}156 \cdot 10^{-2}$	$3{,}200 \cdot 10^{-1}$
Температура ПГФ составляет –11 °С. Масса ПГФ – 55,18 т.		

* Очевидно, пропущены слова «, утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору». (*Примеч. изд.*)

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

При расчете массы выброса полагалось, что аварийное реагирование на разрушение колонны происходит через 12 секунд, то есть происходит переключение потоков на их сброс на факел. В расчетах температуру облака ТВС консервативно принимали по наиболее холодной массе ПГФ, то есть в данном случае температура облака составляла −11 °С.

В табл. № 5-2 дана характеристика также значения скоростей утечки при частичном разрушении (сценарии С1в,н—С5в,н) и условной вероятности реализации взрыва (дефлаграции), исключая пожар-вспышку.

Таблица № 5-2

Характеристики расчетных сценариев на колонне

Сценарий	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации λ_{C_i}, год$^{-1}$	Скорость истечения, кг/с	Условная вероятность отложенного воспламенения $f_{пв}$	Условная вероятность взрыва $f_{дефл}$	Частота реализации взрыва $\lambda_{C_i} \cdot P_{деф}$, год$^{-1}$
Утечка вверху колонны (паровая фаза)						
С1в	5	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	0,04	0,005	0,080	$8{,}00 \cdot 10^{-9}$
С2в	12,5	$0{,}5 \cdot 10^{-5}$	0,28	0,005	0,080	$2{,}00 \cdot 10^{-9}$
С3в	25	$3{,}1 \cdot 10^{-6}$	1,1	0,036	0,240	$2{,}68 \cdot 10^{-8}$
С4в	50	$1{,}9 \cdot 10^{-6}$	4,4	0,036	0,240	$1{,}64 \cdot 10^{-8}$
С5в	100	$0{,}85 \cdot 10^{-6}$	17,6	0,036	0,240	$7{,}34 \cdot 10^{-9}$
Утечка внизу колонны (жидкая фаза)						
С1н	5	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	0,5	0,005	0,080	$8{,}00 \cdot 10^{-9}$
С2н	12,5	$0{,}5 \cdot 10^{-5}$	2,7	0,036	0,240	$4{,}32 \cdot 10^{-8}$
С3н	25	$3{,}1 \cdot 10^{-6}$	10,9	0,036	0,240	$2{,}68 \cdot 10^{-8}$
С4н	50	$1{,}9 \cdot 10^{-6}$	43,8	0,036	0,240	$1{,}64 \cdot 10^{-8}$
С5н	100	$0{,}85 \cdot 10^{-6}$	175	0,176	0,600	$8{,}98 \cdot 10^{-8}$
$C_{пр}$	Полное разрушение	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$	84,90 т (масса выброса пара)	0,240	0,600	$4{,}32 \cdot 10^{-8}$

Частоты выброса и условные вероятности определены согласно Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденному приказом Ростехнадзора от 27 декабря 2013 г. № 646.

Для сценария полного разрушения $С_{пр}$ масштабы дрейфа облака ТВС определены для первичного облака. При дрейфе рассчитана масса облака ТВС, способная к взрывному превращению (рис. 5-1) с помощью программы ТОКСИ+Risk. Рекомендуется учитывать, что согласно расчетам облако максимальной массы, способное к взрывному превращению, образуется за первую минуту дрейфа. Далее во времени масса уменьшается. При этом условия стабильности атмосферы и скорость ветра в основном влияют на смещение центра облака ТВС от эпицентра аварии, а за распространение облака ТВС в начальные моменты времени отвечают процессы гравитационного растекания облака.

Результаты оценки для сценария $С_{пр}$ дрейфа и последствий разрушения зданий представлены в табл. 5-3. Характеристики последствий рассчитаны из консервативных предположений сильно загроможденного пространства и образования облака ТВС на поверхности земли в Руководстве по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утвержденном приказом Ростехнадзора от 31 марта 2016 г. № 137.

Для сценариев с частичным разрушением колонны и утечек из аварийных отверстий (сценарии С1в,н—С5в,н) формирование облака ТВС проходит по другому механизму. Согласно расчетам при увеличении скорости ветра время достижения максимальной массы для взрыва уменьшается (рис. 5-1), как и масса. Класс устойчивости атмосферы также оказывает существенное влияние на массу облака ТВС. При переходе от инверсии к конвекции (от класса «F» к «А») масса облака ТВС уменьшается во много раз при одинаковых скоростях ветра. Результаты оценки сценария (С1—С5) дрейфа

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

представлены в табл. № 5-4, где приводятся также характеристики последствий разрушения зданий и сооружений. Сценарии С1н, С1в и С2 не рассматривались, поскольку при этих сценариях аварий взрывоопасное облако не образуется или его масса менее 1 кг.

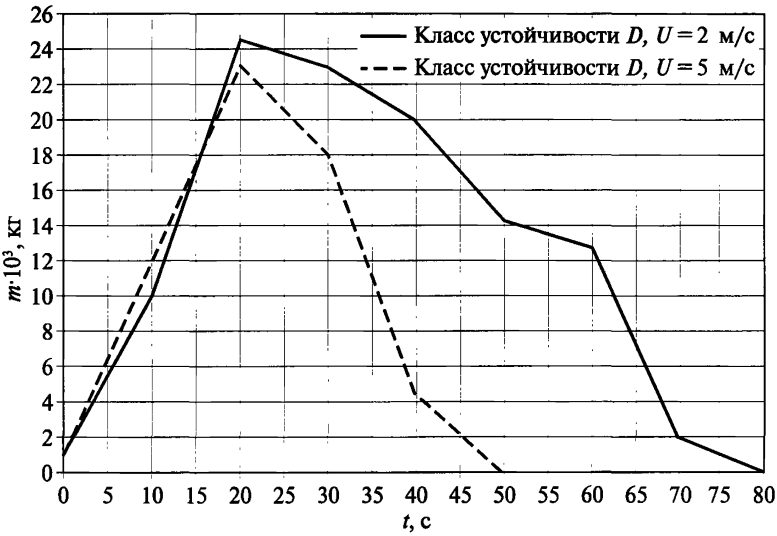


Рис. 5-1. Примеры изменения массы облака $M_г$ при дрейфе в условиях изотермии со скоростями ветра 2 и 5 м/с

Таблица № 5-3

Характеристика расчетного сценария с полным разрушением колонны $C_{пр}$ при дрейфе облака ТВС и последствий его взрыва в дефлаграционном режиме (мгновенный выброс 84,9 т смеси углеводородов с температурой – 11 °С)

КУ	U, м/с	$L_$, м	L, м	M, кг	Радиус зоны разрушения $R(\Delta P_ф)$, м					
					100 кПа	53 кПа	28 кПа	12 кПа	3 кПа	20 кПа
F	1	284	439	27 500	158	221	321	573	2620	398
F	5	41	485	25 900	155	216	314	562	2568	390
F	10	24	593	20 000	142	198	288	515	2356	358
E	1	238	386	27 100	157	220	319	570	2607	396
E	5	38	400	25 400	154	215	312	558	2551	388
E	10	24	483	20 400	143	200	290	519	2371	360
C	1	206	344	26 300	155	217	316	565	2581	392
B	1	177	288	25 500	154	215	313	559	2555	388
A	1	131	210	24 800	152	213	310	554	2531	385

Таблица № 5-4

Характеристика расчетного сценария С5н при дрейфе облака ТВС и последствий его взрыва в дефлаграционном режиме (скорость выброса 175 кг/с с температурой –11 °С)

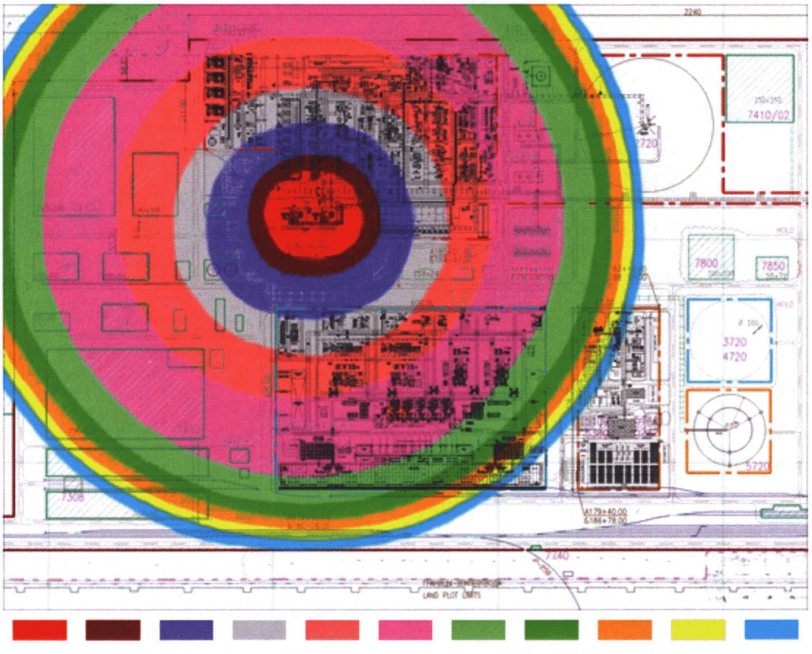
КУ	U, м/с	$L_$, м	L, м	M, кг	Радиус зоны разрушения $R(\Delta P_ф)$, м					
					100 кПа	53 кПа	28 кПа	12 кПа	3 кПа	20 кПа
F	1	0	20	18 069	137	192	279	498	227	34
F	2	0	16	7634	103	144	209	374	170	26
F	5	0	11	2022	66	92	134	240	109	16
F	10	0	88	733	47	66	96	171	783	11
E	1	0	13	9895	112	157	228	408	186	28
E	5	0	75	955	51	72	105	187	855	13
E	10	0	62	376	38	53	77	137	626	95
D	1	0	12	7446	102	143	207	371	169	25

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

КУ	U, м/с	$L_$, м	L, м	M, кг	Радиус зоны разрушения $R(\Delta P_ф)$, м					
					100 кПа	53 кПа	28 кПа	12 кПа	3 кПа	20 кПа
D	5	0	71	734	47	66	96	171	783	11
D	10	0	61	302	35	49	71	127	582	88
A	1	0	29	1356	58	81	118	210	961	14
A	5	0	20	182	30	41	60	108	492	75
A	10	0	19	86	23	32	47	84	383	58

На рис. 5-2–5-4 представлены территориальные распределения потенциального риска разрушения зданий $R_{p\,\Delta P_ф}(x, y)$ (частота превышения заданной величины $\Delta P_ф$) для различных точек территории от аварий на опасном оборудовании площадки деэтанизатора.

Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_ф = 28$ кПа при авариях на всех установках и системе трубопроводов со взрывом облака ТВС представлено на рис. 5-4.



$(10-3)\cdot10^{-5}$ $(3-1)\cdot10^{-5}$ $(10-3)\cdot10^{-6}$ $(3-1)\cdot10^{-6}$ $(10-3)\cdot10^{-7}$ $(3-1)\cdot10^{-7}$ $(10-3)\cdot10^{-8}$ $(3-1)\cdot10^{-8}$ $(10-3)\cdot10^{-9}$ $(3-1)\cdot10^{-9}$ $(10-3)\cdot10^{-10}$

1/год

Рис. 5-2. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_{ф}$ = 12 кПа при авариях на деэтанизаторе со взрывом облака ТВС

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

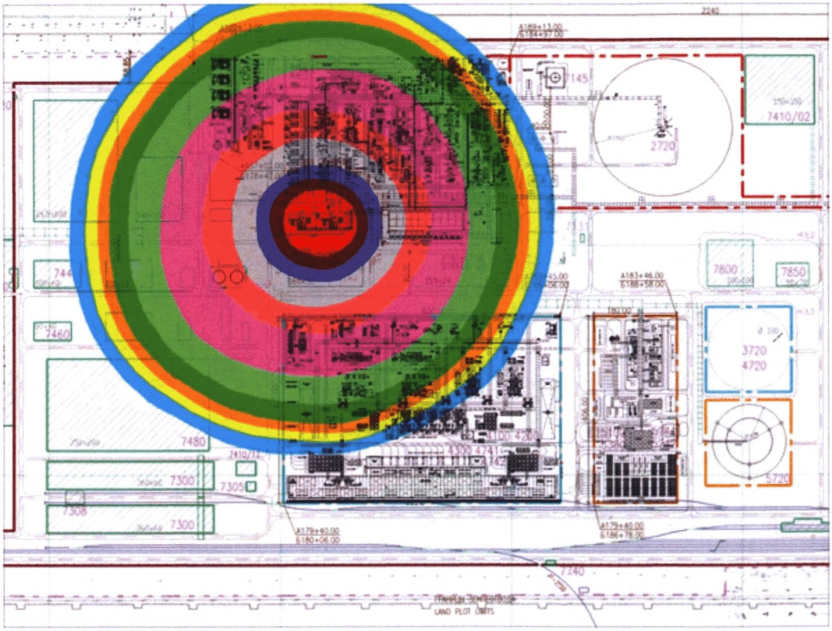


Рис. 5-3. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_{ф} = 28$ кПа при авариях на деэтанизаторе со взрывом облака ТВС

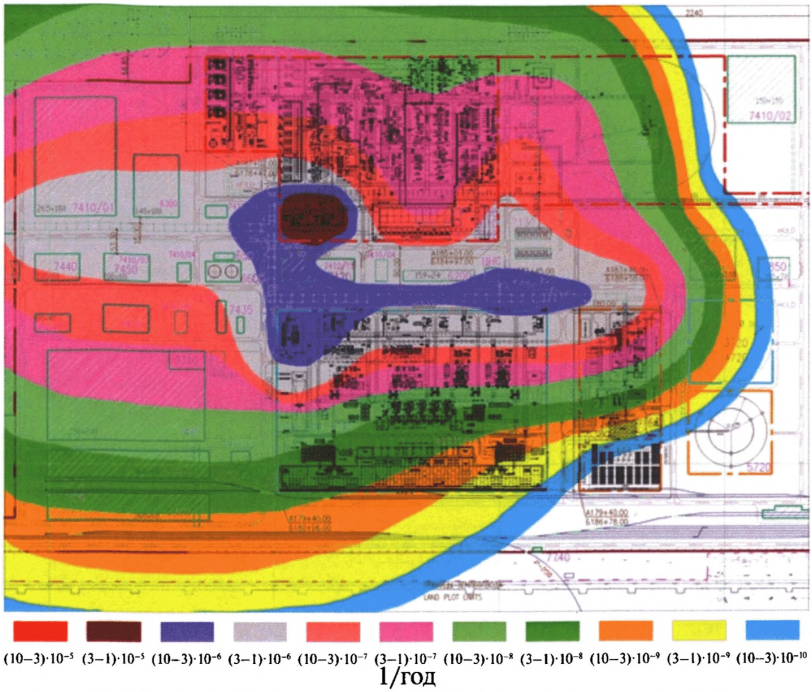


Рис. 5-4. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_{\text{ф}} = 28$ кПа при авариях на всех установках и в системе трубопроводов ОПО со взрывом облака ТВС

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

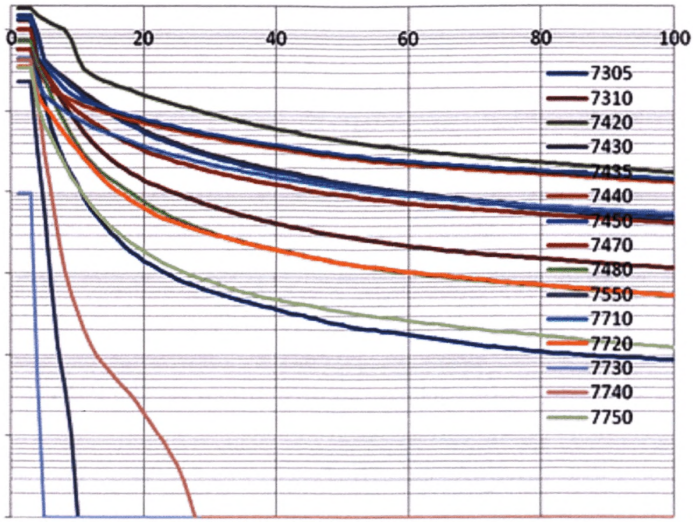


Рис. 5-5. Зависимости частоты F_k превышения избыточного давления $\Delta P_ф$ на фронте УВ для различных зданий от величины $\Delta P_ф$

Результаты оценки показателей риска разрушения различных зданий с учетом их удаленности от источников аварии и проектного давления $P_{пр}$ представлены в табл. № 5-5 и на рис. 5-5.

Таблица № 5-5

Наименование здания	Расчет $\Delta P_ф$ по «тротиловому эквиваленту» , кПа	Расчетное проектное давление $P_{пр}$, кПа	$R^k_{рзш}$, 1/год
Здание управления контейнерной площадкой	23	5	$1{,}36 \cdot 10^{-5}$
Склад реагентов	25	5	$3{,}14 \cdot 10^{-5}$
Операторная	44	45	$5{,}11 \cdot 10^{-6}$
Анализаторная	25	10	$1{,}95 \cdot 10^{-5}$
Административное здание с автостоянкой	22	5	$2{,}39 \cdot 10^{-5}$

Наименование здания	Расчет $\Delta P_{ф}$ по «тротиловому эквиваленту» , кПа	Расчетное проектное давление $P_{пр}$, кПа	$R^{k}_{рзш}$, 1/год
Здание бытовок	25	5	$3{,}52 \cdot 10^{-5}$
Центральная проходная с КПП и автостоянкой	20	5	$1{,}59 \cdot 10^{-5}$

Из результатов расчетов следует, что для всех зданий критерий частоты превышения расчетного проектного давления $P_{пр}$ ниже 10^{-4} в год, что указывает на обоснованность принятых проектных решений по размещению и устойчивости зданий к ударной волне.

© Оформление. ЗАО НТЦ ПБ, 2016

По вопросам приобретения
нормативно-технической документации
обращаться по тел./факсу
(495) 620-47-53 (многоканальный)
E-mail: gost.e-ecolog.ru

Подписано в печать 06.10.2016. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Times. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем 3,5 печ. л.
Заказ № 828.
Тираж 20 экз.

Подготовка оригинал-макета и печать
Закрытое акционерное общество
«Научно-технический центр исследований
проблем промышленной безопасности»
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14

gost.e-ecolog.ru