



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

П Р И К А З

03 июня 2016г.

№ 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 03 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.

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

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 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 $R_{пр}$ 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:

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

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

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

n - номер сценария ($n = 1, 2, \dots, N$);

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 $R_{р\ k}$ в течение года не должна превышать допустимую величину $R_{доп}$:

$$R_{р\ k} < R_{доп}, \quad (2)$$

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 $R_{\text{доп}}$ 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 таблице № 1 приложения № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

Набор основных показателей взрывоопасности определяется в соответствии с целями работы, выбором методов и критериев, применяемых для обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений. Пример 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 $R_{\text{доп}}$ 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 рисунке 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 с 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 часто 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.

Второй тип аварии - истечение вещества через образовавшееся дефектное отверстие – наиболее вероятный. Он включает в себя 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 горячей 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 с 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:

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) пространствах, 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;

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 обрабатываемых 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 газовой смеси;

в) утечки газа (жидкости) внутри производственного помещения с образованием взрывоопасной газовой 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 разлива 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 разлива 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 образованием 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 аварий, приведены в таблице № 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 получившееся 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 рисунке 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 ТВС.

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

Схема распространения вторичного облака ТВС при аварийном выбросе и испарении из пролива стабильных жидкостей (нефть, бензин, дизельное топливо) приведена на рисунке 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_r , которая непосредственно участвует во взрывном процессе и генерации волн. Эта масса газа M_r 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 31 марта 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_r 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_r .

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 31 марта 2016 г. № 137.

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

Условные вероятности $P(C_n|A)$ реализации сценариев C_n аварий с возгоранием и дрейфом облаков ТВС на рассматриваемом объекте следует рассчитывать по следующей формуле:

$$P(C_n|A) = P(G_s|A)P(U_{\psi\phi})P(Se_v) \cdot P(KY|U_{\psi\phi}Se_v)P_{дсф}P(И|A), \quad (3)$$

где: $P(G_s|A)$ - 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 при аварии «А»;

$P(U_{\psi\phi})$ - относительная частота повторяемости в году скорости ветра $U_{\psi\phi}$ 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);

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

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

$P_{\text{деф}}$ - 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;

$P(I_j | A)$ — условная вероятность зажигания облака (I_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:

$$\lambda_{C_n} = P(C_n | A) \lambda_A, \quad (4)$$

где: λ_A — частота аварии на выбранной единице оборудования.

Скорость ветра $U_{\psi\varphi}$ ($\psi = 1, \dots, \Psi$), (Ψ — общее число рассматриваемых скоростей ветра) реализуется по румбу φ ($\varphi = 1, \dots, \Phi$), 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 $22,5^\circ$.

Относительная частота $P(KY | U_{\psi\varphi} Se_v)$ определяется на основе статистических данных по повторяемости характерных состояний атмосферы (классы устойчивости атмосферы А, В, С, D, Е, 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 $R_{p \Delta P_\Phi}(x, y)$, при которых имеет место превышение давления на фронте УВ $\Delta P_\Phi(x, y)$ определенной величины избыточного давления на фронте УВ ΔP_Φ :

$$R_{p \Delta P_\Phi}(x, y) = \sum_n \lambda_{C_n} \cdot P[\Delta P_\Phi(x, y) \geq \Delta P_\Phi | C_n], \quad (5)$$

где: $P[\Delta P_\Phi(x, y) \geq \Delta P_\Phi | C_n]$ — вероятность превышения в точке с координатами (x, y) давления ΔP_Φ на 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 ΔP_Φ взрыва от ΔP_Φ :

$$F_{x_j, y_j}(\Delta P_\Phi) = R_{p \Delta P_\Phi}(x_j, y_j). \quad (6)$$

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 на фронте УВ $P_{пp k}$:

$$R_{p k} = F_{x_k, y_k}(P_{пp k}). \quad (7)$$

20. Определение взрывоустойчивости анализируемых зданий проводится путем сравнения рассчитанных показателей риска с критерием допустимого риска согласно пункту 10 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:

уменьшение вероятности выбросов ОВ в соответствии с требованиями промышленной и пожарной безопасности (обоснование проектных решений, расчет нагрузок и воздействий, квалификацию 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 (твёрдых 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 счёт возведения инженерных сооружений (обвалования);

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

Приложение № 1
к Руководству по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах»
от 03 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;

λ_A — частота аварии с выбросом опасного вещества, год⁻¹;

λ_{Cn} - частота развития аварии по сценарию C_n с возникновением взрыва, год⁻¹;

ΔP_{ϕ} - избыточное давление на фронте падающей УВ, Па;

$R_{p\Delta P_{\phi}}(x, y)$ - потенциальный риск разрушения здания, находящегося на территории объекта с координатами (x, y) , при воздействии на него УВ с избыточным давлением ΔP_{ϕ} , год⁻¹;

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

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

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

$L_{\perp}$ – максимальное расстояние распространения облака ТВС в направлении против ветра, м;

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

P – давление в оборудовании;

$P(G_s | A)$ – частота реализации утечки продукта с интенсивностью G_s ;

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

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

$P(I|A)$ – условная вероятность зажигания облака хотя бы от одного источника зажигания;

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

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

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

$Q_{\text{вз}}$ – 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_r – масса облака ТВС в концентрационных пределах распространения пламени (между $C_{\text{ВКПР}}$ и $C_{\text{НКПР}}$).

Приложение № 2
к Руководству по безопасности «Методы
обоснования взрывоустойчивости зданий
и сооружений при взрывах топливно-
воздушных смесей на опасных
производственных объектах»
от 03 июня 2016 г. № 217

Термины и определения

В настоящем Руководстве по безопасности применяются 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.

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 газо-воздушных смесей, смесей типа воздух - бензин, а также 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 ΔP_{ϕ} - амплитуда давления на фронте падающей УВ (воздушной волны сжатия) P_{ϕ} , образующейся при аварийном взрыве, относительно атмосферного давления P_a без учета отражения от зданий, сооружений ($\Delta P_{\phi} = P_{\phi} - P_a$).

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.

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 с 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 иницирующим (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.

Приложение № 3
к Руководству по безопасности «Методы
обоснования взрывоустойчивости зданий
и сооружений при взрывах топливно-
воздушных смесей на опасных
производственных объектах»
от 03 июня 2016 г. № 217

Пример расчета зон разрушения при взрыве на установке

В резервуаре E2 вместимостью 5000 м³ находится пропан в газовой фазе при температуре 20 °С и давлении 2 атм. Резервуар расположен в равнинной местности. Рассматривается сценарий полного разрушения емкости E2 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 рисунке 1 и в таблице № 1 данного приложения.

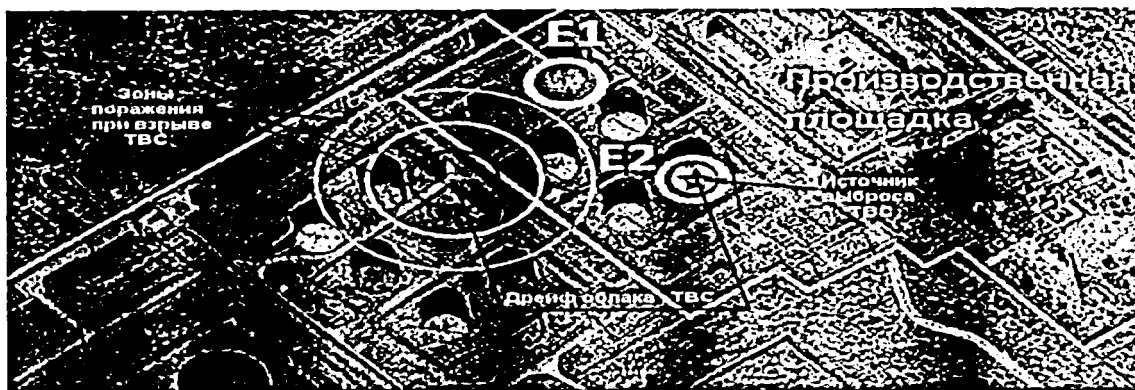


Рис. 1. Зоны поражения ударной волной при взрыве облака ТВС

Таблица № 1

№ п/п	Наименование изолинии	Радиус зоны разрушения, м	Цвет изолинии
1.	Взрыв ТВС: пропан М=753,00 кг. Поражение избыточным давлением 14 кПа	219	
2.	Взрыв ТВС: пропан М=753,00 кг. Поражение избыточным давлением 28 кПа	138	
3.	Взрыв ТВС: пропан М=753,00 кг. Поражение избыточным давлением 70 кПа	81	

Приложение № 4

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

от 03 июня 2016 г. № 217

Рисунки и таблицы

Таблица № 1

Основные показатели взрывоопасности

Показатель	Характеристика
ΔP_{ϕ} - 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 ΔP_{ϕ} , 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 ΔP_{ϕ} в результате взрыва облака ТВС, с учетом его дрейфа
λ_A — частота аварии с выбросом опасного вещества, год ⁻¹	Включает сумму всех частот возможных случаев выброса опасных (горючих) веществ. Зависит от вида и количества оборудования на объекте
λ_c - 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 не учитываются частоты пожара пролива, огненного шара, струевого горения и аварий без воспламенения
$R_{\Delta P_{\phi}}(x, y)$ - 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)

Показатель	Характеристика
R_{pk} - 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
5.	Размеры (площадь) лужи разлития жидкости	Определяет 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 зон 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

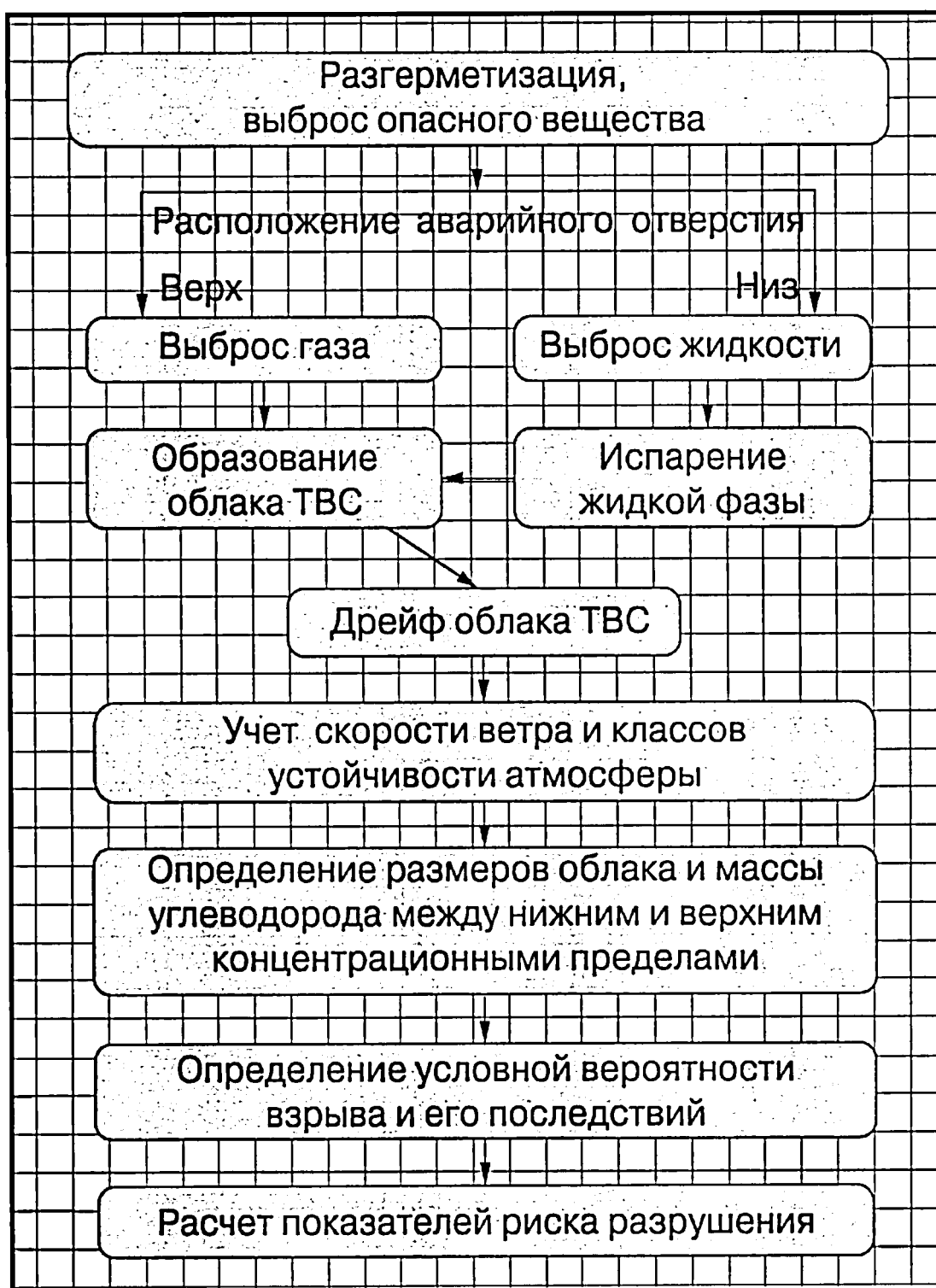


Рис. 2. Алгоритм оценки риска взрыва ТВС

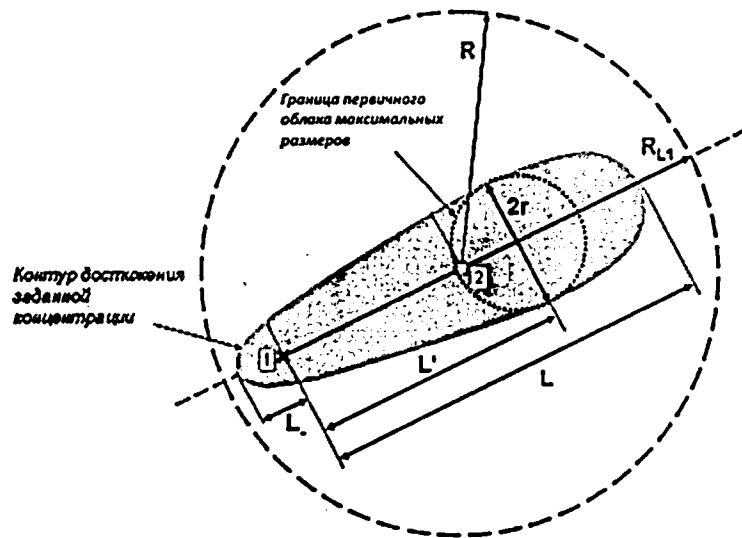


Рис. 3. Схема распространения первичного и вторичного облаков ТВС при аварийном выбросе вскипающих жидкостей

Обозначения: 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 ΔP_{ϕ} в результате конкретного сценария с взрывом облака ТВС с учетом его дрейфа.

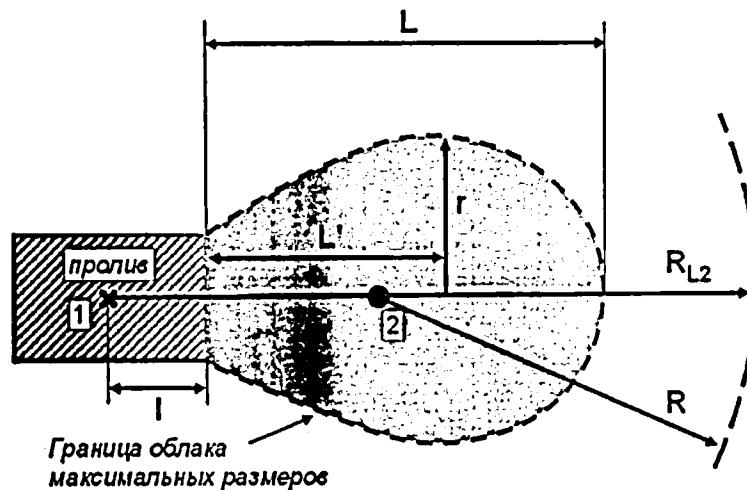


Рис. 4. Схема распространения вторичного облака ТВС при аварийном выбросе и испарении из пролива стабильных жидкостей (нефть, бензин, дизельное топливо)

Обозначения: 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 ΔP_{ϕ} в результате конкретного сценария с 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 03 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 $C_{пр}$) 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 °С до 7,46 °С, масса ПГФ составляет 24,5 т. Жидкая фаза (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 (таблица № 5-1 настоящего приложения).

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.		

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 таблице № 5-2 настоящего приложения № 6 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, $\lambda_{сн}$, год ⁻¹	Скорость истечения, кг/с	Условная вероятность отложенного воспламенения, $f_{пв}$	Условная вероятность взрыва, $f_{дефл}$	Частота реализации взрыва, $\lambda_{сн} * P_{деф}$ год ⁻¹
Утечка вверх 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 вниз 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	$8,98 \cdot 10^{-8}$
С _{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 $C_{пр}$ масштабы дрейфа облака ТВС определены для первичного облака. При дрейфе рассчитана масса облака ТВС, способная к взрывному превращению (рисунок 5-2 настоящего приложения) 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 $C_{пр}$ дрейфа и последствий разрушения зданий представлены на рисунке 5-2 настоящего приложения. 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 $C_{1в,н}$ - $C_{5в,н}$) формирование облака ТВС проходит по другому механизму. Согласно расчетам при увеличении скорости ветра время достижения максимальной массы для взрыва уменьшается (рисунок 5-2 настоящего приложения), как и масса. Класс устойчивости атмосферы также оказывает существенное влияние на массу облака ТВС. При переходе от инверсии к конвекции (от класса «F» к «A») масса облака ТВС уменьшается во много раз при одинаковых скоростях ветра. Результаты оценки сценария (C_1 - C_5) дрейфа представлены в таблице № 5-3 настоящего приложения, где приводятся также характеристики последствий разрушения зданий и сооружений. Сценарии $C_{1н}$, $C_{1в}$ и C_2 не рассматривались, поскольку при этих сценариях аварий взрывоопасное облако не образуется или его масса менее 1 кг.

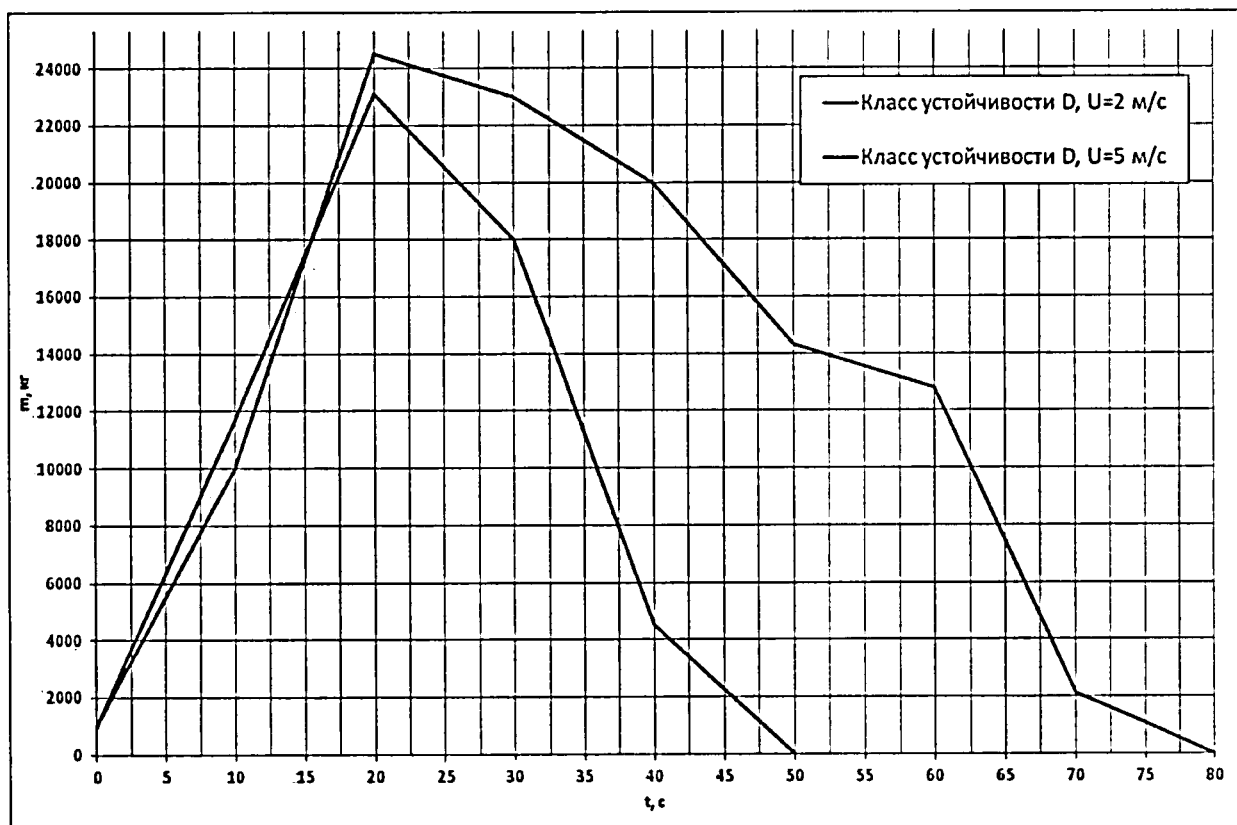


Рис. 5-1. Примеры изменения массы облака M_r при дрейфе в условиях изотермии со скоростями ветра 2 и 5 м/с

Таблица № 5-3

Характеристика расчетного сценария с полным разрушением колонны Спр при дрейфе облака ТВС и последствий его взрыва в дефлаграционном режиме (мгновенный выброс 84,9 т смеси углеводородов с температурой - 11°C)

К У	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	27500	158	221	321	573	2620	398
F	5	41	485	25900	155	216	314	562	2568	390
F	10	24	593	20000	142	198	288	515	2356	358
E	1	238	386	27100	157	220	319	570	2607	396
E	5	38	400	25400	154	215	312	558	2551	388
E	10	24	483	20400	143	200	290	519	2371	360
C	1	206	344	26300	155	217	316	565	2581	392
B	1	177	288	25500	154	215	313	559	2555	388
A	1	131	210	24800	152	213	310	554	2531	385

**Характеристика расчетного сценария С5и при дрейфе облака ТВС
и последствий его взрыва в дефлаграционном режиме
(скорость выброса – 175 кг/с с температурой - 11°C)**

КУ	U м/с	L. м	L м	М, кг	Радиус зоны разрушения R (ΔP_{ϕ}), м					
					100 кПа	53 кПа	28 кПа	12 кПа	3 кПа	20 кПа
F	1	0	20	18069	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
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 рисунках 5-3 – 5-4 настоящего приложения представлены территориальные распределения потенциального риска разрушения зданий $R_{p\Delta P_{\phi}}(x, y)$ (частота превышения заданной величины ΔP_{ϕ}) для различных точек территории от аварий на опасном оборудовании площадки деэтанализатора.

Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_{\phi} = 28$ кПа при авариях на всех установках и системе трубопроводов со взрывом облака ТВС представлено на рисунке 5-4 настоящего приложения.

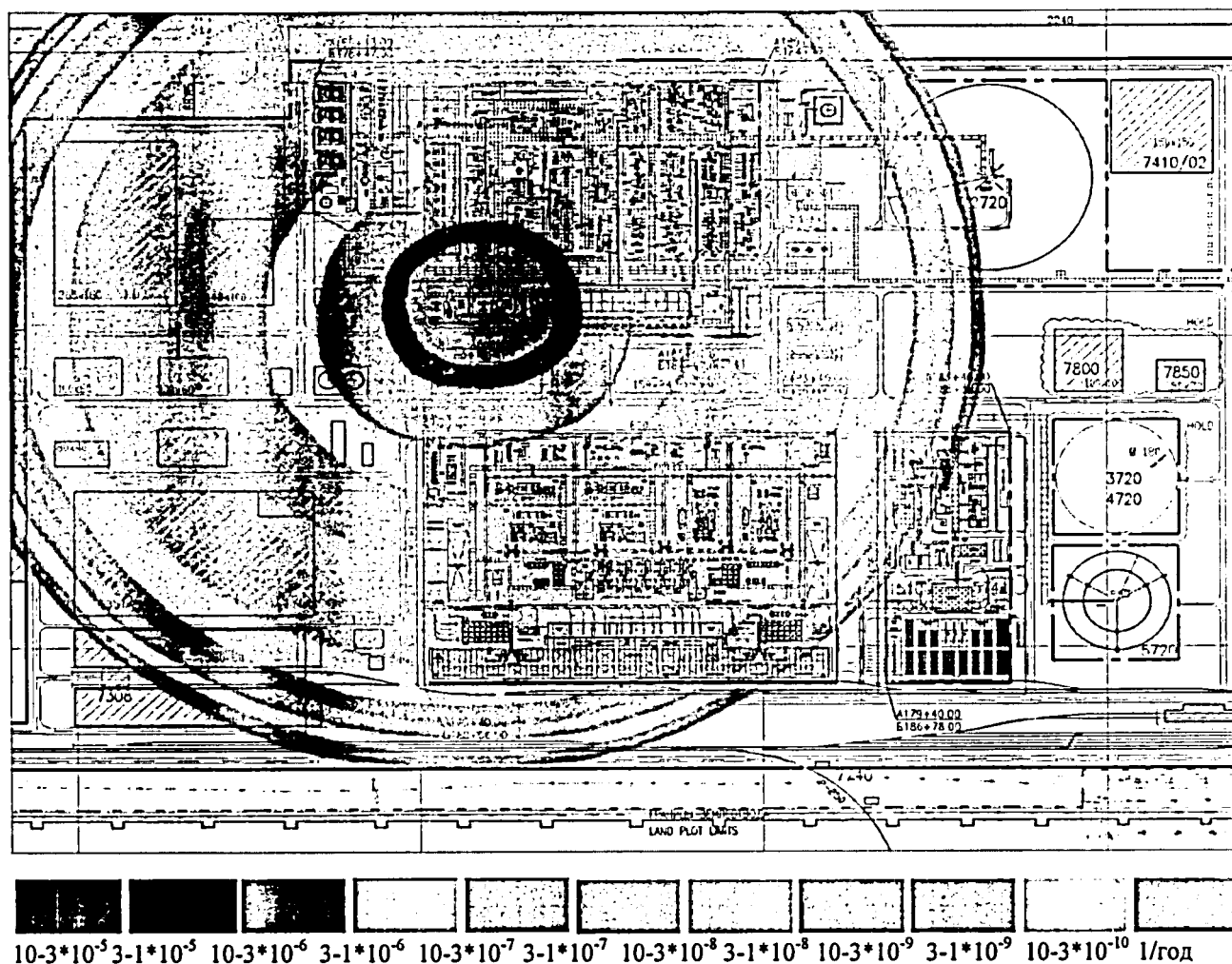


Рис. 5-2. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_{\phi} = 12$ кПа при авариях на деэтанализаторе со взрывом облака ТВС

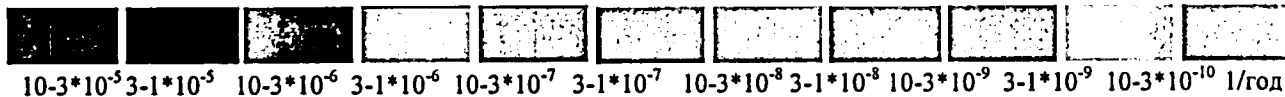
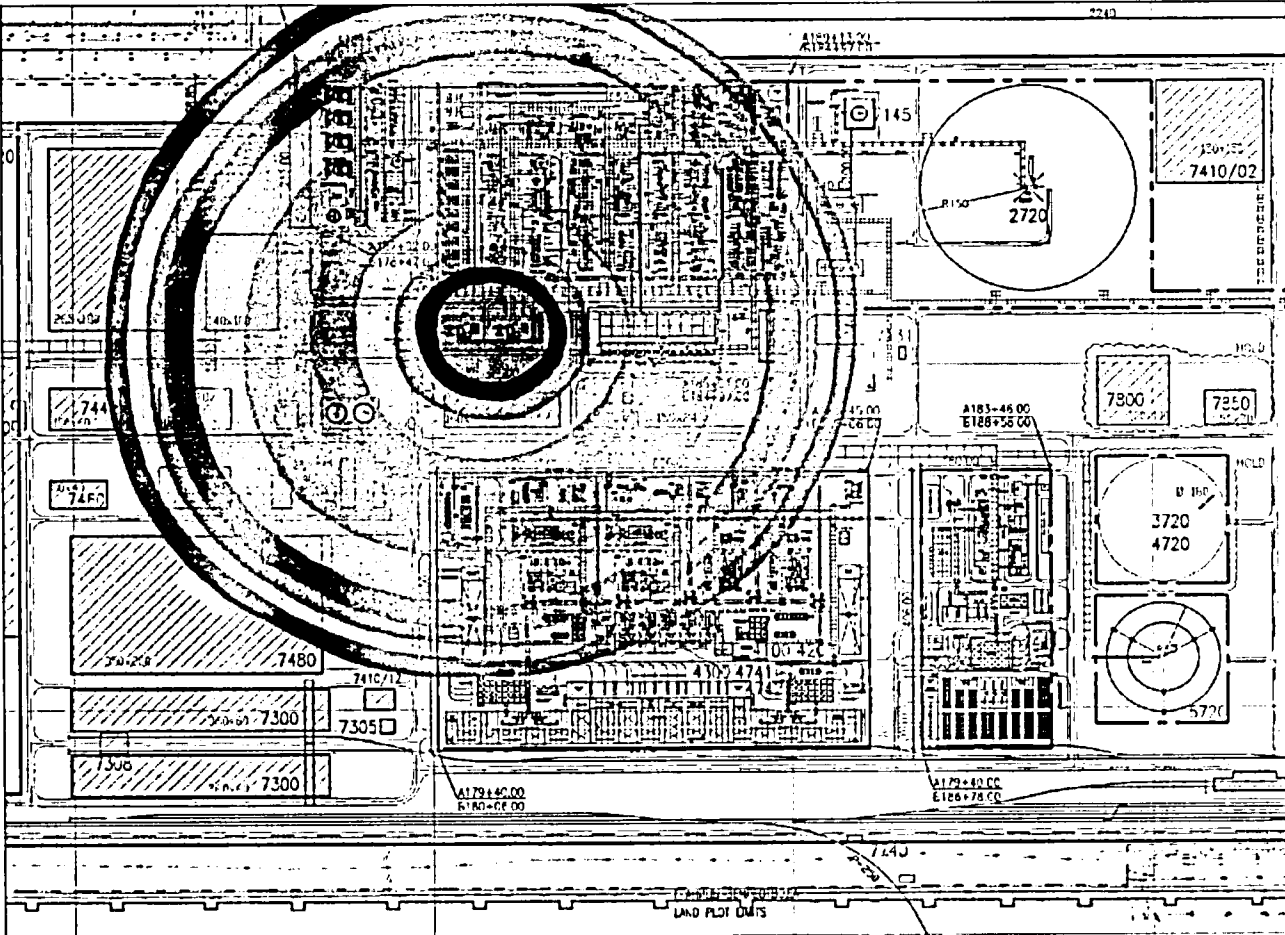


Рис. 5-3. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_{\text{ф}} = 28$ кПа при авариях на деэтанализаторе со взрывом облака ТВС

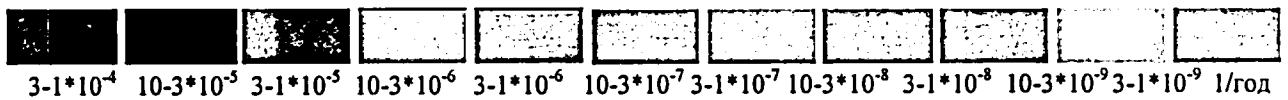
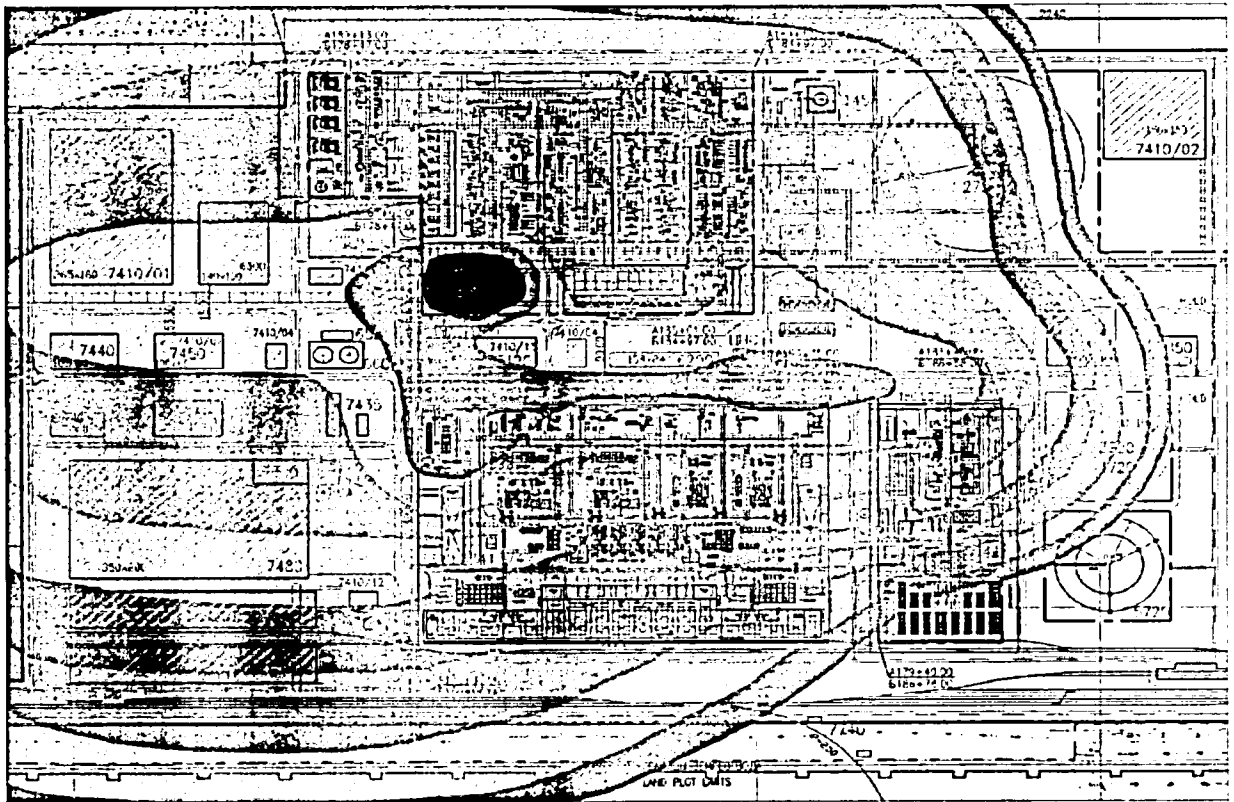


Рис. 5-4. Территориальное распределение потенциального риска разрушения зданий при $\Delta P_{\phi} = 28$ кПа при авариях на всех установках и в системе трубопроводов ОПО со взрывом облака ТВС

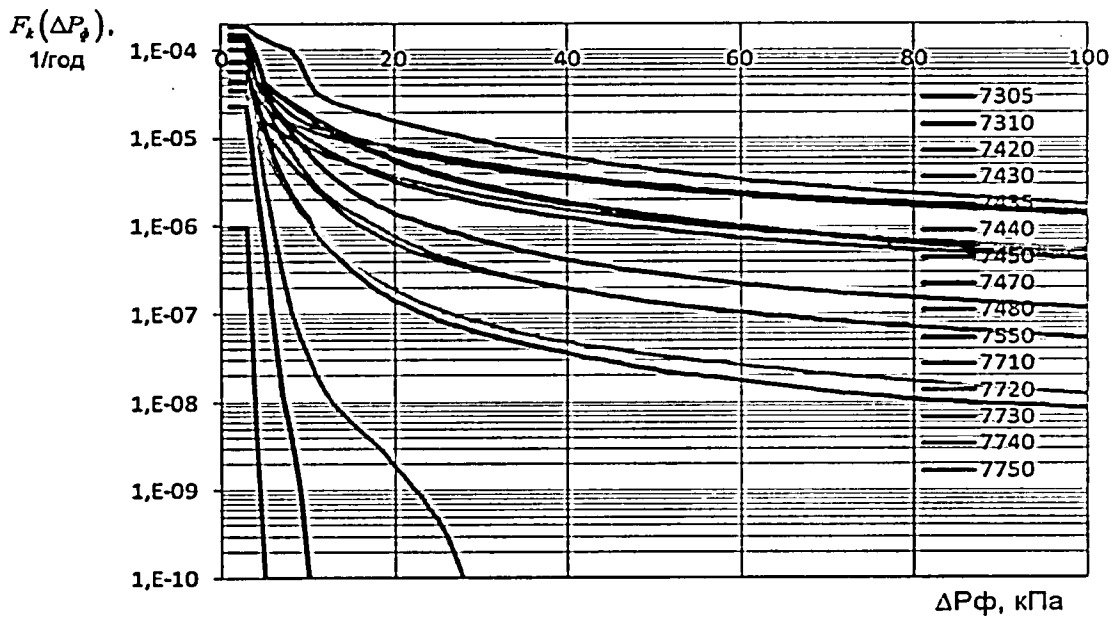


Рис. 5-5. Зависимости частоты F_k превышения избыточного давления ΔP_{ϕ} на фронте УВ для различных зданий от величины ΔP_{ϕ}

Результаты оценки показателей риска разрушения различных зданий с учетом их удаленности от источников аварии и проектного давления $R_{пр}$ представлены в таблице № 5-5 и на рисунке 5-5 настоящего приложения.

Таблица № 5-5

Наименование здания	Расчет $\Delta P_{ф}$ по «тротиловому эквиваленту», кПа	Расчетное проектное давление $R_{пр}$, кПа	$R_{рзш}^k$, 1/год
Здание управления контейнерной площадкой	23	5	$1,36 \times 10^{-5}$
Склад реагентов	25	5	$3,14 \times 10^{-5}$
Операторная	44	45	$5,11 \times 10^{-6}$
Анализаторная	25	10	$1,95 \times 10^{-5}$
Административное здание с автостоянкой	22	5	$2,39 \times 10^{-5}$
Здание бытовок	25	5	$3,52 \times 10^{-5}$
Центральная проходная с КПП и автостоянкой	20	5	$1,59 \times 10^{-5}$

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