

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
Калужский филиал

В.П. Гаценко, В.А. Королёв

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ
ВЗРЫВНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ГРАЖДАНСКАЯ
ЗАЩИТА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ
МИРНОГО И ВОЕННОГО ВРЕМЕНИ**

Учебное пособие



Москва 2009

УДК 355
ББК 68.69
Г61

Рецензент:

канд. техн. наук, доцент кафедры «Тепловые двигатели
и теплофизика» *В.Ю. Ильичев*

Утверждено методической комиссией КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
(протокол №5 от 16.06.09)

Г61 **Гаценко В.П., Королёв В.А.** Прогнозирование последствий взрывных явлений и гражданская защита в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени: Учебное пособие. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 80 с.

В учебном пособии рассмотрены вопросы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, связанных с действием ударной волны ядерного взрыва, и аварийных ситуаций, возникающих на взрывоопасных объектах.

Пособие предназначено для использования в учебном процессе студентами третьего курса всех специальностей КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности. Защита в чрезвычайных ситуациях и гражданская оборона».

УДК 355
ББК 68.69

© Гаценко В.П.,
© Королёв В.А., 2009
© Издательство МГТУ
им. Н.Э. Баумана, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебная дисциплина «Безопасность жизнедеятельности. Защита в чрезвычайных ситуациях и гражданская оборона» — это обязательная общепрофессиональная дисциплина, входящая в учебные программы всех специальностей. Она является частью предмета «Безопасность жизнедеятельности», куда она входит в виде раздела «Защита населения и территорий от опасностей в чрезвычайных ситуациях».

Основная задача дисциплины — вооружить обучаемых теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для работы и реализации мер защиты человека и среды обитания от негативных воздействий, прогнозирования развития негативных ситуаций и оценки последствий их действия, принятия решений по защите производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий, военных действий и по разработке и принятии мер по ликвидации их последствий.

В случае аварии на взрывоопасном объекте или массированного применения противником ядерного оружия появятся зоны разрушений как результат действия ударной волны. В результате может создаваться сложная обстановка, которая окажет существенное влияние на производственную деятельность объектов экономики, его персонал и население.

Опасность создавшейся ситуации требует быстрого выявления и оценки обстановки с целью учета её влияния на организацию аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Учебное пособие состоит из трех разделов. В первом разделе изложены общие понятия о взрыве, взрывоопасных объектах, защите от ударной волны населения и производственных объектов. Рассмотрены зоны разрушений при ядерном взрыве и даны примеры решения типовых задач военного времени.

Во втором разделе рассмотрена методика оценки последствий аварий на объектах по хранению, переработке и транспортировке пожаровзрывоопасных веществ. Даны примеры решения типовых задач.

В третьем разделе дана экспресс-методика прогнозирования последствий взрывных явлений на промышленных объектах. Рассмотрены примеры.

ГЛАВА 1. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

1.1. АВАРИИ НА ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

1.1.1. Общие сведения о взрыве

Статистические данные свидетельствуют о том, что ущерб от взрывов в производственных зданиях во всем мире остается довольно большим и имеет тенденцию ежегодно увеличиваться. Этому способствует интенсификация и концентрация производств, взрывоопасные свойства которых подчас недостаточно изучены.

По данным американского страхового общества, ежегодные убытки от взрывов на предприятиях страны составляют около 75 млн. долларов.

Взрывы чаще всего происходят в химической, нефтехимической, газовой, пищевой, энергетической и некоторых других отраслях промышленности, которые связаны с горючими газами, легковоспламеняющимися парами горючих жидкостей, взрывоопасными пылями.

Многолетний анализ аварий, происходящих на предприятиях химической и нефтехимической промышленности в нашей стране и за рубежом, показывает, что большая часть аварий связана с образованием и взрывом парогазовых смесей.

Несмотря на оснащение производственных объектов самыми современными средствами взрывозащиты, предотвращение взрывов не всегда представляется возможным. Основной ущерб производству и в том числе обслуживающему персоналу наносится за счет разрушения строительных конструкций.

При эксплуатации взрывоопасных производств наибольшее количество взрывов происходит в результате нарушения правил безопасной эксплуатации производств и нарушения технологии при выполнении профилактических ремонтов оборудования, а также из-за несовершенства принятых решений в проектной доку-

ментации и дефектов в элементах оборудования. Причиной значительного числа аварий является некачественно выполненный монтаж технологического оборудования и неисправность контрольно-измерительной аппаратуры.

Анализ аварий показывает, что чаще всего причиной взрыва является открытый огонь, самовоспламенение при взаимодействии продукта с кислородом воздуха, наличие нагретых поверхностей технологического оборудования. Причиной взрывов может служить неисправность электрического оборудования, искровые разряды статического электричества, соударение и трение металла о металл.

Взрывоопасный объект — объект, на котором производят, используют, перерабатывают, хранят или транспортируют легковоспламеняющиеся и взрывоопасные вещества, создающие реальную угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации.

Взрыв — быстрое превращение вещества (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу (ГОСТ 12.1.010-76).

Взрыв, как правило, приводит к возникновению интенсивного роста давления. В окружающей среде образуется и распространяется ударная волна.

Общее действие взрыва проявляется в разрушении оборудования или помещения ударной волной, а также в выделении вредных веществ (продуктов взрыва или содержащихся в оборудовании). По видам взрывы подразделяются на физические и химические:

- ♦ **физический взрыв** — взрыв, вызванный изменением физического состояния вещества и переходом потенциальной энергии в кинетическую и другие виды энергий (ядерный взрыв, взрыв сосуда под высоким давлением из-за уменьшения механической прочности оборудования, взрыв сосуда под давлением в результате внешнего нагрева и т.д.);
- ♦ **химический взрыв** — взрыв, вызванный быстрым химическим превращением веществ, при котором потенциальная химическая энергия переходит в тепловую и кинетическую энергию расщепляющихся продуктов взрыва (взрыв промышленного взрывчатого вещества, взрыв взрывоопасной горючей смеси — предварительно смешанные горючие вещества с окислителем и т.д.).

Взрывы могут быть детонационными и дефлаграционными:

- ♦ **детонационный взрыв** — взрыв, при котором воспламенение последующих слоев взрывчатого вещества происходит в результате сжатия и нагрева ударной волной, т.е. ударная волна и зона химической реакции следуют неразрывно друг за другом с постоянной сверхзвуковой скоростью;
- ♦ **дефлаграционный взрыв** — взрыв, при котором нагрев и воспламенение последующих слоев взрывчатого вещества происходит в результате диффузии и теплопередачи, т.е. фронт волны сжатия и фронт пламени движутся с дозвуковой скоростью.

1.1.2. Воздушная ударная волна, её параметры

Ударная волна — это область резкого сжатия среды, которая в виде сферического слоя распространяется во все стороны от места взрыва со сверхзвуковой скоростью.

Раскаленные пары и газы, стремясь расшириться, производят резкий удар по окружающим слоям воздуха, сжимают их до больших величин давления и плотности и нагревают до высокой температуры. Эти слои воздуха приводят в движение последующие слои. И так сжатие, и перемещение воздуха происходит от одного слоя к другому во все стороны от центра взрыва, образуя *воздушную ударную волну*.

Расширение раскаленных газов происходит в сравнительно малых объемах, поэтому их действие на более заметных удалениях от центра взрыва исчезает и основным носителем действия взрыва становится воздушная ударная волна.

Зоны действия взрыва. Масштабы последствий взрывов зависят от их мощности и среды, в которой они происходят, радиусы зон поражения могут достигать до нескольких километров.

Различают три зоны действия взрыва:

- ♦ **зона I** — действие детонационной волны;
- ♦ **зона II** — действие продуктов взрыва. В ней происходит полное разрушение зданий и сооружений под действием расширяющихся продуктов взрыва;
- ♦ **зона III** — действие воздушной ударной волны.

Характер изменения давления по времени в какой-либо фиксированной точке пространства (поверхности земли) при прохождении через нее ударной волны показан на рис. 1.1.

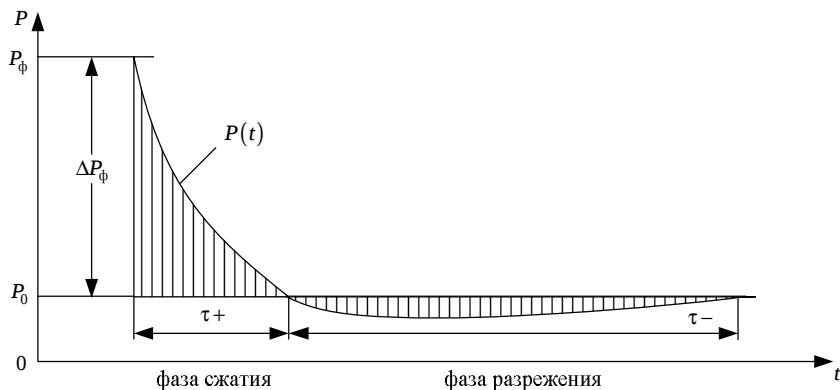


Рис. 1.1. Характер изменения давления по времени в точке пространства при прохождении через нее ударной волны

С приходом фронта ударной волны в данную точку пространства давление резко (скачком) увеличивается и достигает максимального значения

$$P_{\phi} = P_0 + \Delta P_{\phi}. \quad (1.1)$$

Также резко в этой точке возрастает плотность, температура и скорость давления среды (воздуха). После того как фронт ударной волны (ее передняя граница) проходит данную точку пространства, давление в ней постепенно снижается и через некоторый промежуток времени ($\tau+$) становится равным атмосферному. Образовавшийся слой сжатого воздуха называют **фазой сжатия** ($\tau+$). В этот период времени воздушная ударная волна обладает наибольшим разрушающим действием.

С удалением от центра взрыва давление во фронте ударной волны уменьшается, а толщина слоя сжатия все время возрастает. Последнее происходит в результате вовлечения в движение новых масс воздуха.

В дальнейшем, продолжая уменьшаться, давление становится ниже атмосферного, и воздух начинает двигаться в направлении,

противоположном распространению ударной волны, т.е. к центру взрыва. *Эта зона пониженного давления называется фазой разрежения* ($\tau-$). В фазе разрежения ударная волна производит меньше разрушения, чем в фазе сжатия, так как максимальное отрицательное давление значительно меньше максимального избыточного давления во фронте ударной волны. После окончания периода действия фазы разрежения, когда давление достигает давления окружающей среды, практически прекращается движение масс воздуха, а следовательно, и разрушающее действие воздушной ударной волны.

Непосредственно за фронтом ударной волны, в области сжатия, движутся массы воздуха. Вследствие торможения этих масс воздуха при встрече с преградой возникает давление скоростного напора воздушной ударной волны.

Когда фронт ударной волны достигает данной точки пространства (преграды), скоростной (ветровой) напор, как и избыточное давление, моментально поднимается от нуля до максимального значения. По мере удаления от фронта скоростной напор уменьшается до нуля несколько позднее, нежели избыточное давление. Это объясняется инерцией движущегося за фронтом ударной волны воздуха.

В фазе разрежения скоростной напор весьма незначителен и его разрушающее действие, так же как и действие избыточного давления, не учитывают.

Основные параметры ударной волны, характеризующие её разрушающее и поражающее действие:

- ♦ ΔP_{ϕ} — избыточное давление во фронте ударной волны;
- ♦ $P_{\text{ск}}$ — давление скоростного напора воздуха;
- ♦ $\tau +$ — продолжительность действия (длительность фазы сжатия);
- ♦ C_{ϕ} — скорость фронта ударной волны.

Избыточное давление во фронте ударной волны (ΔP_{ϕ}), определяется из выражения

$$\Delta P_{\phi} = P_{\phi} - P_0, \quad (1.2)$$

где ΔP_{ϕ} — это разность между максимальным давлением во фронте ударной волны и нормальным атмосферным давлением P_0 перед этим фронтом (см. рис. 1.1).

Единица избыточного давления — паскаль (Па):

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 0,102 \text{ кгс/м}^2 = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ кгс/см}^2;$$

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 98,1 \text{ кПа}, \text{ или } 1 \text{ кгс/см}^2 \approx 100 \text{ кПа}.$$

Значение избыточного давления в основном зависит от мощности и вида взрыва и расстояния.

Закон подобия при взрывах. При ядерных, так же как и при обычных, взрывах существует довольно простая связь между мощностью и расстоянием от центра взрыва, на котором наблюдается определенная величина избыточного давления (ΔP_{ϕ}). Эта связь называется *законом подобия* при взрывах и может быть выражена следующим образом: при двух взрывах, мощности которых равны q_1 и q_2 , одинаковые избыточные давления во фронте ударных волн ($\Delta P_{\phi} = \text{const}$) наблюдаются на расстояниях R_1 и R_2 (от центров первого и второго взрывов соответственно), отношение которых равно корню третьей степени из отношения мощностей:

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\frac{q_1}{q_2}} \text{ при } \Delta P_{\phi} = \text{const}. \quad (1.3)$$

Закон подобия при взрывах дает возможность определить параметры воздушной ударной волны на различных расстояниях от центра (эпицентра) взрыва любой мощности, если эти параметры известны для взрыва какой-либо определенной мощности.

Причины взрывов. На взрывоопасных предприятиях чаще всего к причинам взрывов относят:

- ♦ разрушение и повреждение производственных емкостей, аппаратуры и трубопроводов
- ♦ отступление от установленного технологического режима (повышение давления и температуры внутри производственной аппаратуры и другое);
- ♦ отсутствие постоянного контроля за исправностью производственной аппаратуры и оборудования и своевременностью проведения плановых ремонтных работ.

1.1.3. Взрывчатые вещества

Взрывчатые вещества — это химические соединения или смеси, способные к быстрому химическому превращению с образова-

нием сильно нагретых газов, которые из-за расширения и огромного давления способны произвести механическую работу.

По составу взрывчатые вещества (ВВ) делятся на:

- ◆ конденсированные ВВ (химические соединения);
- ◆ взрывоопасные смеси.

По назначению конденсированные ВВ разделяются на:

- ◆ иницирующие;
- ◆ бризантные;
- ◆ метательные.

Иницирующие ВВ применяются исключительно для снаряжения средств инициирования взрыва (капсюлей-детонаторов, капсюлей-воспламенителей и др.).

К иницирующим ВВ относятся:

- ◆ гремучая ртуть;
- ◆ азид свинца;
- ◆ тенерес (ТНРС) (тринитрорезорцинат свинца).

Бризантные ВВ более мощные и значительно менее чувствительны к различного рода внешним воздействиям, чем иницирующие ВВ.

К бризантным ВВ относятся:

- ◆ ВВ повышенной мощности (ТЭН, гексоген, тетрил);
- ◆ ВВ нормальной мощности (тротил, пикриновая кислота, пластичное ВВ);
- ◆ ВВ пониженной мощности (аммиачная селитра, аммониты, аммоналы).

Метательные ВВ объединяют вещества, основной формой взрывчатого превращения которых является горение. К ним относится порох различной модификации.

Пороха делятся на дымные и бездымные.

Взрывоопасные смеси, как правило, состоят из горючих газов, паров или пылей различных химических веществ и воздуха.

Взрывоопасность горючих газов характеризуется температурой самовоспламенения и областью воспламенения, т.е. концентрационными пределами воспламенения.

Минимальная концентрация горючих газов в воздухе, при которой возможно её воспламенение от определенного теплового источника, называется *нижним концентрационным пределом вос-*

пламенения. Максимальная концентрация горючих газов в воздухе, выше которой воспламенение её невозможно от теплового источника любой мощности, называется *верхним концентрационным пределом воспламенения.* Взрывоопасность вещества тем больше, чем ниже нижний и выше верхний пределы воспламенения и чем ниже температура самовоспламенения.

Взрывоопасность паровоздушных смесей определяется температурными условиями.

Опасность вспышки паров некоторых легковоспламеняющихся жидкостей может возникнуть при изменении температуры окружающей среды. Температурные пределы воспламенения газов и паров соответствуют нижнему и верхнему концентрационным пределам воспламенения.

Безопасной в отношении образования взрывоопасных паровоздушных смесей считается температура вещества на 10°C ниже нижнего температурного предела воспламенения или на 15°C выше верхнего предела.

Нижним температурным пределом взрываемости называется температура жидкости, при которой концентрация насыщенных паров в воздухе в замкнутом объеме достигает такой величины, при которой смесь способна воспламениться, если поднести к ней источник зажигания. Концентрация паров жидкости при нижнем температурном пределе соответствует нижнему концентрационному пределу воспламенения.

Верхним температурным пределом взрываемости называется температура жидкости, при которой концентрация её насыщенных паров в воздухе в замкнутом объеме составляют такую величину, при которой смесь еще способна воспламениться при поднесении к ней источника зажигания. При более высокой температуре жидкости образуется смесь насыщенных паров с воздухом, не способная воспламениться. Концентрация паров при верхнем температурном пределе соответствует верхнему концентрационному пределу воспламенения.

Взрывоопасность пылевоздушных смесей характеризуется температурой самовоспламенения и нижним концентрационным пределом воспламенения. Минимальная температура, при которой пыль загорается в стандартном приборе, разработанным ВНИИПО, принимается за *температуру самовоспламенения.*

Минимальную концентрацию, при которой пыль способна (в стандартном приборе) воспламениться и распространять горение по всей массе, называют *нижнем концентрационным пределом воспламенения*. Нижний предел воспламенения (взрываемости) является определяющим параметром, характеризующим степень опасности пыли.

1.1.4. Контрольные вопросы:

1. Что такое взрыв?
2. Виды взрывов.
3. Параметры ударной воздушной волны.
4. Закон подобия при взрывах.
5. Деление взрывчатых веществ по составу и назначению.
6. Дать определение взрывоопасного объекта.
7. Причины взрывов на объектах экономики.

1.2. ВОЗДУШНАЯ УДАРНАЯ ВОЛНА (ВУВ) ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

1.2.1. Воздействие ВУВ ядерного взрыва на сооружения, технику и людей

1.2.1.1. Характер воздействия ударной волны на людей

Ударная волна может нанести незащищенным людям травматические поражения, контузии или быть причиной их гибели. Поражения могут быть непосредственными или косвенными.

Непосредственное поражение ударной волной возникает в результате воздействия избыточного давления и скоростного напора воздуха. Ввиду небольших размеров тела человека ударная волна почти мгновенно охватывает человека и подвергает его сильному сжатию. Процесс сжатия продолжается со снижающейся интенсивностью в течение всего периода фазы сжатия, т.е. в течение нескольких секунд. Мгновенное повышение давления в момент прихода ВУВ воспринимается живым организмом как резкий удар. В то же самое время скоростной напор создает значительной лобовое давление, которое может привести к перемещению тела в пространстве.

Косвенные поражения люди могут получить в результате ударов обломками разрушенных зданий и сооружений или в результате ударов летящих с большой скоростью осколков стекла, шлака, камней, дерева и других предметов.

Характер и степень поражения незащищенных людей зависят от мощности и вида взрыва, расстояния, метеоусловий, а также от места нахождения (в здании, на открытой местности) и положения (лежа, сидя, стоя) человека.

Воздействие ВУВ на незащищенных людей характеризуется легкими, средними, тяжелыми и крайне тяжелыми травмами.

Крайне тяжелые контузии и травмы у людей возникают при избыточном давлении ΔP_{ϕ} более 100 кПа. Отмечаются разрывы внутренних органов, переломы костей, внутренние кровотечения, сотрясение мозга, длительная потеря сознания. Разрывы наблюдаются в органах, содержащих большое количество крови (печень, селезенка, почки), наполненных газом (легкие, кишечник) или имеющих полости, наполненные жидкостью (желудочки головного мозга, мочевого и желчный пузыри). Эти травмы могут привести к смертельному исходу.

Тяжелые контузии и травмы возможны при избыточных давлениях $\Delta P_{\phi} = 60 \div 100$ кПа. Они характеризуются сильной контузией всего организма, потерей сознания, переломами костей, кровотечением из носа и ушей; возможны повреждения внутренних органов и внутренние кровотечения.

Поражения средней тяжести возникают при избыточном давлении $\Delta P_{\phi} = 40 \div 60$ кПа. При этом могут быть вывихи конечностей, контузия головного мозга, повреждение органов слуха, кровотечение из носа и ушей.

Легкие поражения наступают при избыточном давлении $\Delta P_{\phi} = 20 \div 40$ кПа. Они выражаются в скоропроходящих нарушениях функций организма (звон в ушах, головокружение, головная боль). Возможны вывихи и ушибы.

Поражения людей, находящихся в момент взрыва в зданиях и сооружениях, зависят от степени их разрушения. Так, при полных разрушениях зданий следует ожидать гибели всех находящихся в них людей; при сильных и средних — может выжить примерно

половина людей, а остальные получают травмы различной степени тяжести. Многие пострадавшие могут оказаться под обломками конструкций, а также в помещениях с заваленными или разрушенными путями эвакуации.

Избыточное давление во фронте ударной волны $\Delta P_{\text{ф}} \leq 10 \text{ кПа}$ для людей, расположенных вне укрытий, считается безопасным.

Радиус поражения обломками зданий, особенно осколками стекол, разрушающихся при избыточном давлении более 2 кПа, может превышать радиус непосредственного поражения ударной волной.

Гарантированная защита людей от ударной волны обеспечивается при укрытии их в убежищах. При отсутствии убежищ используются противорадиационные укрытия, простейшие укрытия, естественные укрытия и рельеф местности.

1.2.1.2. Воздействие ВУВ ядерного взрыва на сооружения и технику

Характер разрушений элементов объекта (предметов) зависит от нагрузки, создаваемой ударной волной, и реакции предмета на действие этой нагрузки. Общую оценку разрушений, вызванных ВУВ ядерного взрыва, принято давать по степени тяжести этих разрушений. Для большинства элементов объекта, как правило, рассматриваются четыре степени разрушений: слабое, среднее, сильное и полное.

Наибольшим разрушениям ударной волной подвергаются здания и сооружения больших размеров с легкими несущими конструкциями, значительно возвышающиеся над поверхностью земли. Подземные и заглубленные в грунт сооружения с жесткими конструкциями обладают значительной сопротивляемостью разрушению.

Степень разрушения зданий и сооружений можно представить в следующем виде:

- ◆ полное — обрушены перекрытия и разрушены все основные несущие конструкции; восстановление невозможно;
- ◆ сильное — имеются значительные деформации несущих конструкций; разрушена большая часть перекрытий и стен; восстановление невозможно;
- ◆ среднее — разрушены главным образом второстепенные конструкции (легкие стены, перегородки, крыши, окна, двери);

возможны трещины в наружных стенах; восстановление возможно силами персонала объекта экономики путем проведения среднего или капитального ремонта;

- ♦ слабое — разрушена часть внутренних перегородок, заполнения дверных и оконных проемов; оборудование имеет значительные деформации; в коммунальных и энергетических сетях разрушения и поломки конструктивных элементов незначительны; восстановление возможно путем проведения незначительного (текущего) ремонта.

Большие разрушения получают наземные здания, рассчитанные на собственный вес и вертикальные нагрузки, более устойчивы заглубленные и подземные сооружения. Здания с металлическим каркасом средние разрушения получают при 20–40 кПа, полные — при 60–80 кПа, здания кирпичные — при 10–20 кПа и 30–40 кПа, здания деревянные — при 10 и 20 кПа соответственно.

Здания с большим количеством проемов более устойчивы, так как в первую очередь разрушаются заполнения проемов, а несущие конструкции при этом испытывают меньшую нагрузку. Разрушение остекления в зданиях происходит при 2–7 кПа.

Станочное оборудование предприятий разрушается при избыточных давлениях $\Delta P_{\phi} = 35 \div 70$ кПа. Измерительное оборудование — при 20–30 кПа, наиболее чувствительные приборы могут повреждаться при 10 кПа и даже 5 кПа. При этом необходимо учитывать, что при обрушении конструкций зданий будет разрушаться и оборудование.

Степень разрушений (повреждений) транспортных средств зависит от их положения относительно направления распространения ударной волны. Средства транспорта, расположенные бортом к направлению действия ВУВ, как правило, опрокидываются и получают большие повреждения, чем машины, обращенные к взрыву передней частью.

Наиболее устойчивы к воздействию ВУВ морские и речные суда и железнодорожный транспорт. Транспортные суда получают средние повреждения при $\Delta P_{\phi} = 60 \div 80$ кПа. Железнодорожный подвижной состав может эксплуатироваться после воздействия избыточных давлений: вагоны — до 40 кПа, тепловозы — 70 кПа (слабые разрушения).

Самолеты — наиболее уязвимые объекты, чем остальные транспортные средства. Нагрузки, создаваемые избыточным давлением $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа, достаточны для того, чтобы образовались вмятины в обшивке самолета, деформировались крылья, что может привести к временному снятию с полетов.

1.2.2. Очаг ядерного поражения

Очагом ядерного поражения называется территория, в пределах которой в результате воздействия ядерного оружия произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных, растений и (или) разрушения и повреждения зданий и сооружений.

Очаг ядерного поражения характеризуется

- ◆ количеством пораженных;
- ◆ размерами площадей поражения;
- ◆ зонами заражения с различными уровнями радиации;
- ◆ зонами пожаров, затопления, разрушения и повреждения зданий и сооружений;
- ◆ частичным разрушением, повреждением или завалом защитных сооружений.

Поражение людей и животных в очаге может быть от воздействия ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения, а также от воздействия вторичных факторов поражения.

Степень разрушения элементов производственного комплекса определяется в основном действием ударной волны, светового излучения, вторичных факторов поражения, а для некоторых объектов — также действием проникающей радиации и электромагнитного импульса.

Размеры очага ядерного поражения в основном зависят от мощности, вида взрыва и рельефа местности. В качестве критерия для определения границ зон очага ядерного поражения принято избыточное давление во фронте ударной волны.

Внешней границей очага ядерного поражения является условная линия на местности, где избыточное давление ВУВ $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа. Такое избыточное давление считается безопасным для незащищенных людей.

Для определения возможного характера разрушений и установления объема спасательных и других неотложных работ, обусловленных воздействием ВУВ, очаг ядерного поражения условно делят на четыре зоны:

1. **Зона полных разрушений** возникает там, где $\Delta P_{\phi} \geq 50$ кПа. На её долю приходится около 12% всей площади очага поражения.
2. **Зона сильных разрушений** образуется при избыточном давлении во фронте ударной волны ΔP_{ϕ} от 50 до 30 кПа и составляет около 10% всей площади очага.
3. **Зона средних разрушений** характеризуется избыточным давлением во фронте ударной волны ΔP_{ϕ} от 30 до 20 кПа и занимает около 18% площади очага ядерного поражения.
4. **Зона слабых разрушений** создается при избыточном давлении во фронте ударной волны ΔP_{ϕ} от 20 до 10 кПа. На её долю приходится до 60% площади всего очага.

За пределами очага ядерного поражения здания и сооружения могут получать незначительные повреждения: разрушение остекления, повреждение оконных рам, дверей, кровли. Возможно возникновение отдельных очагов пожаров. В этих условиях люди могут получать легкие ожоги и ранения. Но эти поражения будут в ограниченном числе случаев и население способно самостоятельно оказывать помощь пострадавшим и устранять повреждения.

1.2.3. Оценка обстановки, сложившейся в результате воздействия ударной волны ядерного взрыва

Задача 1.1. Определить радиус зоны с $\Delta P_{\phi} \geq 30$ кПа при воздушном взрыве ядерного боеприпаса мощностью $q = 5$ Мт.

Решение. По табл. П.10 (см. Приложение) находим колонку, соответствующую мощности взрыва 5 Мт, и на пересечении горизонтали с избыточным давлением 30 кПа и вертикали 5 Мт (В — воздушный) находим искомый радиус:

$$R \leq 9,2 \text{ км.}$$

Задача 1.2. Какова мощность воздушного ядерного взрыва, если в 14 км от эпицентра взрыва $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа.

Решение. По табл. П.10 (см. Приложение) просматриваем в горизонтальном направлении на уровне $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа значения радиусов в колонках с буквой В — воздушный взрыв. Радиусу в 14 км соответствует боеприпас с $q = 3$ Мт.

Задача 1.3. Определить избыточное давление во фронте ударной волны на расстоянии 4 км от центра наземного ядерного взрыва мощностью $q = 3$ Мт.

Решение. По табл. П.10 (см. Приложение) находим боеприпас с $q = 3$ Мт и, просматривая вертикальную колонку сверху вниз с буквой Н — наземный взрыв, находим, что расстоянию в 4 км соответствует $\Delta P_{\phi} = 100$ кПа.

Задача 1.4. При мощности взрыва $q_1 = 5$ Мт избыточное давление во фронте ударной волны $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа будет на расстоянии $R_1 = 24$ км от эпицентра воздушного взрыва. Определить, на каком расстоянии R_2 это же избыточное давление будет при мощности боеприпаса с $q_2 = 2,5$ Мт.

Решение. Используем формулу (1.3) закона подобия при взрывах:

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\frac{q_1}{q_2}} \quad \text{при} \quad \Delta P_{\phi} = \text{const.}$$

Находим величину R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1}{\sqrt[3]{\frac{q_1}{q_2}}} = \frac{24}{\sqrt[3]{\frac{5}{2,5}}} = \frac{24}{1,26} \approx 19 \text{ км.}$$

Задача 1.5. Какие разрушения получат промышленные здания на территории завода, если он оказался в 7,5 км от эпицентра воздушного взрыва ядерного боеприпаса мощностью $q = 1,0$ Мт. Известно, что 40% зданий имеют тяжелый металлический каркас, а остальные здания кирпичные.

Решение. По табл. П.10 (см. Приложение) находим величину избыточного давления на территории завода: $\Delta P_{\phi} = 20$ кПа.

По табл. П.11 (см. Приложение) в колонке «объекты разрушения» находим нужные наименования промышленных сооружений, т.е. с тяжелым металлическим каркасом и кирпичные. По колонкам «степени разрушения» определяем, что произойдет с этими сооружениями при $\Delta P_{\phi} = 20$ кПа. В результате делаем вывод, что:

- ♦ промышленные сооружения с тяжелым металлическим каркасом получают слабую степень разрушения;
- ♦ кирпичные здания — среднюю степень.

Задача 1.6. В каком случае возможно образование сплошных завалов на городской улице, если известно, что ширина её составляет 30 м, а высота строений — 4–5 этажей.

Решение. Применяя к указанному условию информацию, содержащуюся в табл. П.12, можно сделать вывод: образование сплошных завалов на указанной в условии задачи улице возможно при величине избыточного давления

$$\Delta P_{\phi} = 70 \text{ кПа.}$$

Задача 1.7. Восточный район города может попасть в зону разрушений с избыточным давлением $\Delta P_{\phi} = 60 \div 80$ кПа. Плотность застройки — 40%, ширина улиц — 15–20 м, здания в основном трехэтажные.

Будут ли в этих условиях образовываться сплошные завалы, какова их возможная высота и каков будет объем работ по устройству проездов шириной 7 м на улицах района общей протяженностью 6 км.

Решение:

1. В соответствии с данными, указанными в условии задачи (трехэтажные дома, ширина улиц — 15–20 м), по табл. П.12 можно сказать, что завалы возможны при $\Delta P_{\phi} = 50$ кПа.
2. По табл. П.13 определяем высоту сплошного завала. Условию задачи (40% застройка, трехэтажные дома) соответствует значение 2 м.
3. Находим объем работ по расчистке улиц, т.е. устройству проездов шириной 7 м:

$$V_{\text{раб}} = 6000 \cdot 7 \cdot 2 = 84\,000 \text{ м}^3.$$

1.2.4. Контрольные вопросы

1. Как действует ударная волна на здания, сооружения, технику, людей?
2. Что называется очагом ядерного поражения?
3. Перечислить поражающие факторы, действующие в очаге ядерного поражения.
4. От чего зависят размеры очага ядерного поражения?
5. На какие зоны условно делят очаг ядерного поражения, что вы знаете о них?

1.3. ЗАЩИТА ОТ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ЛЮДЕЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

1.3.1. Защитные сооружения, их классификация, защитные свойства

Характер и тяжесть поражения людей зависят от величины параметров ударной волны, положения человека в момент взрыва и его защищенности. При прочих равных условиях наиболее тяжелые поражения получают люди, находящиеся в момент прихода ударной волны вне укрытий в положении стоя. В этом случае площадь воздействия скоростного напора воздуха будет примерно в 6 раз больше, чем в положении человека лежа.

Наиболее надежную защиту человек получает при использовании защитных сооружений.

Защитные сооружения — это инженерные сооружения, специально предназначенные для защиты персонала производственных объектов и населения в чрезвычайных ситуациях (от оружия массового поражения, аварий, стихийных бедствий и катастроф).

Защитные сооружения ГО относятся к коллективным средствам защиты. Они классифицируются:

- ◆ по защитным свойствам: на убежища и простейшие укрытия (щели);
- ◆ по назначению: для укрытия населения, размещения органов управления, сохранения материальных ценностей;
- ◆ по расположению: на встроенные и отдельно стоящие;
- ◆ по срокам строительства: на созданные заблаговременно и быстровозводимые (БВУ).

Убежища представляют собой инженерные сооружения герметичного типа, обеспечивающие наиболее надежную защиту укрываемых в них людей от воздействия всех поражающих факторов ядерного взрыва, от отравляющих веществ, бактериальных средств, от теплового воздействия и вредных газов в зонах пожаров, а также от обвалов и обломков разрушенных зданий при взрывах.

Убежища, расположенные в пределах проектной застройки городов, должны иметь степень защиты $2\text{--}3 \text{ кг/см}^2$, а расположенные в зоне возможных слабых разрушений за границей проектной застройки — до 1 кг/см^2 .

Требования к размещению убежищ, к их защитным свойствам изложены в СНиП 2.01.51-90, а к объемно планировочным и конструктивным решениям — в СНиП II-11-77.

В убежищах люди могут находиться длительное время, даже в заваленных безопасность их обеспечивается в течение нескольких суток. Надежность защиты достигается за счет прочности ограждающих конструкций и перекрытий, а также за счет создания санитарно-гигиенических условий, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность людей в убежище.

Требования к убежищам — убежища должны:

- ◆ обеспечивать защиту укрывающихся от всех поражающих факторов на срок, не менее двух суток;
- ◆ строиться на участках местности, не подвергающихся затоплению и воспламенению;
- ◆ иметь выходы и входы с той же степенью защиты, что и основные помещения, а на случай завала — аварийные выходы;
- ◆ иметь фильтровентиляционное оборудование, способное очищать воздух от всех вредных примесей и обеспечивать подачу чистого воздуха в пределах установленных норм.

Убежища имеют *основные* и *вспомогательные* помещения.

К основным помещениям относятся:

- ◆ помещение для укрываемых;
- ◆ пункт управления;
- ◆ тамбур-шлюзы.

К вспомогательным помещениям относятся:

- ◆ фильтровентиляционные камеры;
- ◆ электрощитовая;

- ◆ санитарные узлы;
- ◆ медицинская комната, кладовые и т.д.

Каждое убежище должно иметь следующее оборудование

- ◆ систему воздухообеспечения включающую в себя систему фильтровентиляции и систему регенерации. Последней оснащаются те убежища, которые могут оказаться в районах пожаров или на территории, аварийно загазованной химически опасными веществами. Система фильтровентиляции должна работать как в режиме чистой вентиляции, когда воздух очищается от грубодисперсной радиоактивной пыли, так и в режиме фильтровентиляции — воздух очищается от радиоактивной пыли, отравляющих веществ и бактериальных средств;
- ◆ водопровод и запас питьевой воды (по норме 2–3 л на каждого укрывающегося в сутки);
- ◆ отопление;
- ◆ санитарный узел;
- ◆ освещение (основное и аварийное), не потребляющее кислорода;
- ◆ средства связи (репродуктор телефон, радиостанцию и т.д.);
- ◆ противопожарный инвентарь;
- ◆ инструменты и материалы для аварийно-спасательных работ;
- ◆ аптечку или медицинский пункт;
- ◆ контрольно-измерительные приборы;
- ◆ документацию (план убежища, инструкции для укрывающихся и для звена службы убежищ и укрытий).

Количество убежищ на производственном объекте по вместимости должно обеспечивать укрытие наибольшей работающей смены.

Обслуживание убежищ осуществляется службой убежищ и укрытий. Убежище вводится в эксплуатацию только после приемки комиссией, действующей в соответствии с «Инструкцией по приемке и эксплуатации убежищ гражданской обороны». На каждое убежище составляются план, карточка привязки убежища и схема путей эвакуации людей из убежища.

На плане убежища указываются: вентиляционные каналы в стенах; воздухозаборные системы; сети водопровода, канализации, отопления и электроосвещения, места расположения отключаю-

щих устройств; аварийный выход, толщина и материалы стен и перекрытия убежища, площадь и внутренняя кубатура помещений; приводится таблица предельно допустимого времени пребывания людей при постоянном объеме воздуха (в зависимости от заполнения людьми).

На карточке привязки убежища показываются: место нахождения убежища, расположенные вблизи характерные незаваливаемые ориентиры, по которым можно быстро отыскать заваленное убежище.

В случае угрозы нападения противника или в других чрезвычайных ситуациях могут строиться быстровозводимые убежища (БВУ) из готовых строительных конструкций по подготовленной заранее документации.

Для строительства БВУ применяется сборный железобетон, элементы коллекторов инженерных сооружений городского подземного хозяйства.

В БВУ, как и в заблаговременно построенных убежищах, должны быть помещения для укрываемых, места для размещения фильтровентиляционного оборудования простейшего или промышленного изготовления, аварийный запас воды, входы и выходы, аварийный выход и т.д.

Строительство БВУ планируется на свободных участках между производственными зданиями на удалении 20–25 м от зданий и друг от друга. На строительство БВУ обычно выделяется 40–50 человек, два бульдозера, экскаватор, два автокрана и при необходимости электро- или газосварочный аппарат и компрессор с отбойными молотками. Такой расчет сил и средств может построить при умелой организации указанное выше количество БВУ за 2–3 суток непрерывной сменной работы.

Простейшие укрытия предназначаются для массовой защиты населения. Они должны быть построены не более чем за 24 ч. Простейшие укрытия обеспечивают защиту от воздушной ударной волны, от обломков при разрушении зданий, от светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения. Для защиты от отравляющих веществ и бактериальных средств применяют средства индивидуальной защиты.

К простейшим укрытиям относятся:

- ◆ щели;
- ◆ подвалы;
- ◆ тоннели;
- ◆ горные выработки и другие заглубленные помещения.

Щель представляет собой траншею глубиной 200 см, шириной сверху — 120 см, внизу — 80 см. Стены укрепляются одеждой из жердей, досок, железобетонных конструкций и других местных материалов.

Перекрытие щели делают из бревен диаметром 18–20 см, бруса, ж/б плит и других прочных материалов. Сверху перекрытия укладывают гидроизоляцию из рубероида, полиэтиленовой пленки или слоя мягкой глины толщиной 20–30 см, а затем насыпают слой грунта толщиной 70–80 см и обкладывают дерном.

Открытая щель уменьшает радиус поражения ударной волной на 1/3, а перекрытая — вдвое. Ослабление дозы радиации у открытой щели — в 3–4 раза, у перекрытой — в 50 раз (грунт 60 см).

1.3.2. Принципы защиты производственных объектов от ВУВ

1. Повышение прочности зданий и сооружений.

- ◆ В мирное время при проектировании и строительстве производственных объектов необходимо шире использовать высокопрочные и легкие материалы. Увеличение световых проемов (застекленных) уменьшает давление ударной волны. Использование поворачивающихся панелей, облегченных межэтажных перекрытий, лестничных маршей, усиление их крепления балками, применение легких огнестойких кровельных материалов — все это позволяет повысить устойчивость зданий и сооружений к воздействию ВУВ и светового излучения.
- ◆ Укрепление существующих конструкций зданий при угрозе нападения.
- ◆ Вводятся дополнительные опоры, усиливаются слабые узлы и элементы конструкций. Закрепляются оттяжками высокие элементы (трубы, мачты, колонны). Устанавливают металлические или бетонные торсы, каркасы, распорки. Заменяют вертикальные конструкции на горизонтальные.

2. Повышение устойчивости технологического и станочного оборудования к воздействию ВУВ.

- ♦ В мирное время производят размещение оборудования в заглубленных помещениях, усиливают слабые элементы путем закрепления на фундаменте, устанавливают защитные упругие навесы, камеры, шатры, кожухи, зонты, шкафы, сетки. Установка оборудования осуществляется на специально деформируемые опоры. Создают запасы элементов, деталей, узлов для ремонта. Размещают тяжелое оборудование на первых этажах. Некоторые виды оборудования размещают за пределами здания.
- ♦ При угрозе нападения реализуют мероприятия, разработанные в мирное время.

3. Повышение устойчивости технологического процесса.

- ♦ В мирное время разрабатывают способы продолжения производства при выходе из строя отдельных станков, линий, цехов за счет перевода производства в другие цеха или на другие объекты экономики, путем замены одного оборудования другим. Разрабатывают варианты замены сложных технологических процессов простыми, дефицитных материалов, деталей и сырья — на более доступные. Подготавливают расчеты по изменению технологии производства. Разрабатывают процессы производства продукции без использования горючих взрывоопасных материалов и ядовитых веществ. Разрабатывают способы безаварийной остановки производства по сигналу «Воздушная тревога».
- ♦ При угрозе нападения осуществляют переход на новый технологический процесс. Вводят в действие разработанные в мирное время мероприятия.
- ♦ По сигналу «Воздушная тревога» осуществляется безаварийная остановка производства или перевод его в безаварийный режим (отключение от источников энергии, остановка отдельных агрегатов, обеспечение управления процессом).

4. Повышение устойчивости систем энергоснабжения.

- ♦ В мирное время создаются дублирующие источники энергоснабжения путем закольцовывания коммуникаций. Завершается подземная прокладка всех коммуникаций. Диспетчер-

ские пункты располагают в защитных сооружениях. Осуществляется крепление трубопроводов к эстакадам. Укрепляются сами эстакады. Заменяют деревянные опоры на железобетонные. Создают резервные источники электро- и водоснабжения, располагают их на большом расстоянии друг от друга. Создают запасы топлива, усиливают конструкции хранилищ горючих материалов. Разрабатывают план бесперебойного снабжения водой, теплом, газом.

- ◆ При угрозе нападения реализуются мероприятия, разработанные в мирное время. Подготавливаются коммуникации и энергетические сети к быстрому отключению в случае «Воздушной тревоги».
- ◆ По сигналу «Воздушная тревога» отключают подачу электроэнергии, газа, сжатого воздуха. Производят необходимые переключения в энергетических сетях.

1.3.3. Контрольные вопросы

1. Что такое защитное сооружение?
2. Требования к убежищам.
3. Что такое быстровозводимые убежища?
4. Что вы знаете о простейших укрытиях?
5. Мероприятия, проводимые для повышения прочности зданий и сооружений в мирное время.
6. Как повысить устойчивость технологического и станочного оборудования к воздействию ВУВ?
7. Перечислить мероприятия, направленные на повышение устойчивости систем энергоснабжения.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ ПО ХРАНЕНИЮ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДИКЕ ПО ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

2.1.1. Назначение методики

Методика предназначена для оценки последствий аварий на объектах по хранению, переработке и транспортировке:

- ◆ сжиженных углеводородных газов (СУГ);
- ◆ сжатых углеводородных газов (СЖУГ);
- ◆ легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ);
- ◆ конденсированных взрывчатых веществ (КВВ).

2.1.2. Основные определения и допущения

1. Под «резервуарами» в методике понимаются резервуары для хранения и транспортирования СУГ, СЖУГ, ЛВЖ, КВВ, а также технологические установки, содержащие эти вещества.
2. В качестве поражающих факторов рассматриваются:
 - ◆ воздушная ударная волна (ВУВ), образующаяся в результате взрывных превращений облаков топливно-воздушных смесей (ТВС) и конденсированных взрывчатых веществ (КВВ);
 - ◆ тепловое излучение огневых шаров и горящих в разлиии;
 - ◆ осколки и обломки оборудования;
 - ◆ обломки зданий и сооружений, образующиеся в результате взрывных превращений облаков ТВС и взрывов КВВ;
 - ◆ осколки, образующиеся при взрывах сосудов под давлением.
3. В качестве показателей последствий взрывных явлений на объектах экономики (ОЭ) вследствие действий ВУВ приняты:
 - ◆ *для людей* — количество человек, получивших смертельное поражение (без учета влияния мер экстренной медицинской

помощи) при условии их нахождения на открытой местности, в зданиях и сооружениях;

- ◆ *для окружающей место аварии застройки* — степени разрушения зданий и сооружений промышленной и селитебной зоны. Описание степеней разрушения зданий и сооружений приведены в табл. П.1
4. В качестве показателя воздействия тепловых потоков принимается:
 - ◆ *для людей* — процент получивших ожоги 1-й и 2-й степени, а также смертельное поражение; в пределах огневого шара или горящего разлива люди получают смертельное поражение; все горючие материалы воспламеняются, 60% резервуаров со сжиженными углеводородными газами взрываются;
 - ◆ *для зданий и сооружений* — возможность воспламенения горючих материалов.
 5. Методика позволяет учитывать 6 режимов взрывных превращений облаков ТВС: от детонации до дефлаграции со скоростью видимого фронта пламени 100 м/с.
 6. Независимо от характера разгерметизации облако ТВС в 20% случаев рассеивается. В остальных случаях происходит воспламенение облака. Это с равной вероятностью приводит к взрывному превращению облака или образованию огневого шара.
 7. При оценке последствий воздействия огневых шаров принято, что в диапазоне между нижним и верхним пределами воспламенения в период существования огневого шара находится 60% массы газа (пара) в облаке и что эта масса более 1000 кг.
 8. Коэффициент сопротивления при истечении из отверстий принят равным 0,6.
 9. Расчетное соотношение для числа осколков образующихся при взрыве резервуаров справедливо при емкости сферического резервуара не менее 400 м³.
 10. Время нахождения людей в зоне действия теплового потока от горящего разлива принято равным 60 с.
 11. При расчете числа погибших при взрывах количество людей, находящихся между границами зон с разной вероятностью выживания, умножается на среднюю вероятность гибели, вычисляемую как среднее арифметическое между значениями вероятностей на границах зон.

2.1.3. Исходные данные

1. Исходные данные для прогнозирования последствий при взрывах облаков ТВС, горении разлитий и взрывах резервуаров
 - ♦ тип топлива, содержащегося на объекте;
 - ♦ масса топлива, находящегося в различных местах объекта (резервуарах, установках и т.д.);
 - ♦ класс окружающего пространства (в соответствии с табл. П.2);
 - ♦ план объекта и прилегающей территории с картограммой распределения людей;
 - ♦ условия растекания жидкостей (в поддон, в обвалование, свободно);
2. Исходные данные для прогнозирования последствий при взрывах конденсированных взрывчатых веществ:
 - ♦ тип КВВ, содержащегося на объекте (в соответствии с таблицей П.8).

2.2. ПОРЯДОК ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ОЭ ПРИ ЧС СО СЖИЖЕННЫМИ УГЛЕВОДОРОДНЫМИ ГАЗАМИ (СУГ)

2.2.1. Определение массы вещества в облаке ТВС

Осуществляется следующим способом:

- ♦ при мгновенной разгерметизации масса вещества (M) в облаке равняется полной массе СУГ, находящегося в резервуаре;
- ♦ при длительном истечении СУГ из резервуара, в случае нахождения отверстия ниже уровня жидкости, масса вещества в облаке (M) определяется по формуле

$$M = 36\rho S \left[\frac{2(P - P_a)}{\rho} + 2gH \right]^{1/2}, \quad (2.1)$$

где ρ — плотность СУГ, кг/м³; S — площадь сечения отверстия, м²; P — давление в резервуаре, Па; P_a — атмосферное давление, Па (1,1·10⁵ Па); g — ускорение свободного падения, 9,81м/с²; H — высота слоя жидкости над отверстием, м;

- ♦ при истечении СУГ из трубопровода масса в облаке определяется из выражения

$$M = 60\rho S \left[\frac{2(P - P_a)}{\rho} \right]^{1/2} \cdot \left(1 + \frac{4fl}{d} \right)^{-1/2}; \quad (2.2)$$

$$f = [4 \lg(3,715d/c)]^{-2}, \quad (2.3)$$

где l — длина трубопровода, м; d — диаметр трубопровода, м; c — толщина стенки трубопровода, м.

2.2.2. Определение величины дрейфа и режима взрывного превращения облака ТВС

По классу пространства, окружающего место воспламенения облака (табл. П.2), и классу вещества (табл. П.3) по табл. П.4 определяется режим взрывного превращения облака ТВС.

В случае если вещество не внесено в табл. П.3, его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в списке веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества, его следует отнести к классу 1, т.е. рассматривать как наиболее опасный случай.

Величина дрейфа облака (расстояние от центра облака до разгерметизированного элемента) до момента его воспламенения определяется по графику на рис. П.1 с учетом рекомендаций:

- ♦ при мгновенной разгерметизации резервуара — 300 м;
- ♦ при длительном истечении ТВС из резервуара — 150 м (что соответствует 70% всех случаев аварий);
- ♦ направление дрейфа принимают, исходя из розы ветров данного региона, или рассматривают наиболее опасный случай (направление в сторону ближайшего объекта, населенного пункта и т.д.).

2.2.3. Оценка последствий аварий

2.2.3.1. Оценка воздействия взрывных превращений облаков ТВС на людей и сооружения

В соответствии с выбранным режимом взрывного превращения, а также в зависимости от массы топлива, содержащегося в облаке,

и интересующего расстояния по графикам (рис. П.3–П.7) определяются границы зон полных, сильных, средних и слабых степеней разрушения зданий и сооружений жилой и промышленной застройки. Границы зон расстекления определяются по графикам на рис. П.14.

Затем на план объекта наносятся указанные границы зон разрушений (в качестве эпицентра следует принимать место воспламенения облака), после чего определяются здания и сооружения, получившие ту или иную степень разрушения.

Для людей, находящихся на открытой местности, расстояние, на котором происходит поражение воздушной ударной волной (ВУВ) при различных режимах взрывных превращений облаков ТВС, определяется по графикам на рис. П.8–П.13.

Количество погибших среди людей, находящихся на открытой местности N_m , определяется по формуле

$$N_m = \sum_{i=1}^6 \frac{n_{im} \cdot P_{im}}{100}, \quad (2.4)$$

где n_{im} — количество людей, находящихся в i -й зоне (определяется по картограмме распределения людей); P_{im} — процент людей, погибших в i -й зоне:

$$\begin{aligned} P_{1m} &= 0\%; \quad P_{2m} = 1\%; \quad P_{3m} = 10\%; \\ P_{4m} &= 50\%; \quad P_{5m} = 90\%; \quad P_{6m} = 99\%. \end{aligned}$$

Количество погибших среди людей, находящихся в зданиях N_z , определяется по формуле

$$N_z = \sum_{i=1}^4 n_{iz} \left(1 - \frac{P_{iz}}{100} \right) + \sum_{i=3}^4 n_{ip} \left(1 - \frac{P_{ip}}{100} \right), \quad (2.5)$$

где n_{iz} — количество людей в жилых и административных зданиях, находящихся в i -й зоне (определяется по картограмме распределения людей); P_{iz} — процент людей, выживающих в жилых и административных зданиях, попавших в i -ю зону (зона определяется в соответствии с рис. П.2–П.7);

$$P_{4ж} = 98\%; \quad P_{3ж} = 94\%; \quad P_{2ж} = 85\%; \quad P_{1ж} = 30\%;$$

$n_{ин}$ — количество людей в промышленных зданиях и сооружениях, попавших в i -ю зону (определяется по картограмме распределения людей); $P_{ин}$ — процент людей, выживающих в промышленных зданиях и сооружениях, попавших в i -ю зону (зона определяется в соответствии с рис. П.2–П.7);

$$P_{4п} = 90\%; \quad P_{3п} = 40\%.$$

2.2.3.2. Оценка воздействия огневого шара (теплового потока) на людей и сооружения

Радиус огневого шара определяется по формуле

$$R = 3,2 \cdot (0,6M)^{0,325}. \quad (2.6)$$

Вероятность поражения людей тепловым потоком зависит от индекса дозы теплового излучения J , который определяется из соотношения

$$J = t \cdot (Q_0 \cdot R^2 / X^2)^{4/3}, \quad (2.7)$$

где Q_0 — тепловой поток на поверхности огневого шара, кВт/м², значения которого для наиболее распространенных веществ приведены в табл. П.5; X — расстояние от центра огневого шара ($X > R$), м; t — время существования огневого шара, с:

$$t = 0,85 \cdot (0,6M)^{0,26}. \quad (2.8)$$

Доля пораженных тепловым излучением определяется по графику, приведенному на рис. П.15.

Воздействие огневых шаров на здания и сооружения, не попадающие в пределы самого огневого шара, определяются наличием возгораемых веществ и величиной теплового потока (q), которая определяется по формуле (время жизни огневого шара принято равным 15 с)

$$q = Q_0 \cdot R^2 / X^2. \quad (2.9)$$

В табл. П.6 приведены значения тепловых потоков, вызывающих воспламенение некоторых материалов. При величине теплового потока более 85 кВт/м² воспламенение происходит через 3–5 с.

2.2.3.3. Оценка воздействия осколков оборудования на людей и сооружения

Число осколков N образующихся при разрыве сферического резервуара со сжиженными углеводородными газами (СУГ) определяется из соотношения

$$N = 0,0096V - 3,77, \quad (2.10)$$

где V — объем резервуара, м³.

Средняя масса одного осколка m определяется из соотношения

$$m = M_p / N, \quad (2.11)$$

где M_p — масса оболочки резервуара, кг.

При разрыве цилиндрического резервуара образуются два осколка равной массы.

По графику на рис. П.16. определяется вероятная дальность полета осколка. Определяется перечень зданий и сооружений, попадающих в зону разлета осколков. Здания получают среднюю степень разрушения, а технологические установки и трубопроводы — сильную.

По графикам на рис. П.17 определяется число людей, получивших смертельное поражение при разрыве резервуара под давлением в зависимости от объема резервуара и плотности размещения людей.

2.3. ПОРЯДОК ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПО ХРАНЕНИЮ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ СЖАТЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ (СЖУГ)

Определение массы вещества в облаке СЖУГ:

- 1) при мгновенной разгерметизации резервуара хранения масса вещества M в облаке равняется полной массе СЖУГ, находящихся в резервуаре.
- 2) при длительном истечении СЖУГ из резервуара, масса вещества в облаке M определяется по формуле

$$M = 40 \cdot S_0 \cdot \sqrt{P \cdot \rho}, \quad (2.12)$$

где S_0 — площадь сечения отверстия, м²; P — давление в резервуаре, Па; ρ — плотность газа, кг/м³;

- 3) при истечении газа из трубы, масса вещества в облаке M определяется по формуле

$$M = 66 \cdot S \cdot \sqrt{P \cdot \rho}, \quad (2.13)$$

где S — площадь сечения трубы, м^2 ; P — давление газа в трубе, Па; ρ — плотность газа, кг/м^3 , определяется из соотношения

$$\rho = \frac{M_V \cdot P}{R \cdot T}, \quad (2.14)$$

где M_V — молекулярный вес, кг/кмоль ; R — газовая константа, Дж/кмоль/К ; T — температура, К .

Дальнейшие расчеты выполняются в соответствии с пп.2.2.2–2.2.3.

2.4. ПОРЯДОК ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ ПО ХРАНЕНИЮ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ (ГЖ)

2.4.1. Определение объема вещества, разлившегося при аварии

1. При разрушении резервуара объем вытекшей жидкости принимается равным 80% от общего объема резервуара.
2. При разрушении трубопровода объем вытекшей жидкости определяется по формуле

$$V = 0,79 D^2 L, \quad (2.15)$$

где D — диаметр трубопровода, м; L — длина отрезка между соседними отсекающими, м.

2.4.2. Определение линейных размеров разлития ГЖ

Линейный размер разлития зависит от объема вытекшей жидкости и условий растекания:

- 1) при свободном растекании диаметр разлития может быть определен из соотношения

$$d = \sqrt{25,5 \cdot V}, \quad (2.16)$$

где d — диаметр разлития, м; V — объем жидкости, м^3 ;

2) при разлитии в поддон или обвалование необходимо определить, закрыто ли полностью слоем жидкости их дно.

Условием для закрытия является наличие слоя жидкости толщиной более 0,02 м, т.е.

$$V/S > 0,02, \quad (2.16a)$$

где S — площадь обвалования (поддона), м^2 .

2.4.3. Определение величины теплового потока при возгорании разлива ГЖ

Величина теплового потока q на заданном расстоянии X от горящего разлива вычисляется по формуле

$$Q = 0,8Q_0 e^{-0,03X}, \quad (2.17)$$

где Q_0 — тепловой поток на поверхности факела, кВт/м^2 , значения которого приведены в табл. П.7; X — расстояние до фронта пламени, м.

Расстояние, на котором будет наблюдаться тепловой поток с заданной величиной q , определяются по формуле

$$X = 33 \ln \left(1,25 \frac{Q_0}{q} \right), \quad (2.18)$$

где q — величина теплового потока, кВт/м^2 .

2.4.4. Воздействие теплового потока на людей

Величина индекса дозы теплового излучения J определяется по формуле

$$J = 60q^{4/3}. \quad (2.19)$$

Процент пораженных людей определяется по графику, изображенному на рис. П.15.

2.4.5. Воздействие теплового потока на окружающую застройку, местность

Возможность воспламенения различных материалов определяется по табл. П.6.

2.5. ПОРЯДОК ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ ПО ХРАНЕНИЮ И ПЕРЕРАБОТКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ (КВВ)

2.5.1. Порядок определения степеней разрушения зданий и сооружений

1. В соответствии с табл. П.8 определяется класс КВВ.
2. По графикам, представленным на рис. П.18–П.20, в зависимости от класса КВВ, его массы и расстояния определяются границы зон полных, сильных, средних и слабых степеней разрушения зданий и сооружений жилой и промышленной застройки.
3. Граница зоны расстекления определяется по графикам, изображенным на рис. П.21.
4. Дальнейшая процедура расчета последствий аналогична п.2.2.3.1 настоящей методики.

2.5.2. Порядок определения поражения людей

1. В соответствии с табл. П.8 определяется класс КВВ.
2. По графикам, представленным на рис. П.22–П.24, в зависимости от массы и класса КВВ определяются границы зон поражения с различным процентом выживших.
3. Дальнейшая процедура расчета последствий аналогична п.2.2.3.1 настоящей методики.

2.6. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ

Задача 2.1. Определить количество пострадавших в радиусе 205 м от эпицентра взрыва среди персонала объекта в случае мгновенного разрушения резервуара с пропаном емкостью 100 т. Плотность персонала на территории объекта — 0,001 чел./м². Резервуар окружен технологическим оборудованием, размещенным с высокой плотностью.

Решение:

1. В соответствии с указаниями методики определяем, что при взрыве образовавшегося облака ТВС в реакции примет участие 100 т пропана, а при образовании огневого шара — 60 т.

2. По табл. П.2 определяем класс пространства, окружающего место аварии — 2-й класс (сильно загроможденное пространство).
3. По табл. П.3 определяем класс вещества — 2-й класс.
4. По табл. П.4 определяем вероятный режим взрывного превращения облака ТВС — 2-й режим.
5. По графику, приведенному на рис. П.9, определяем потери персонала в результате аварии:
 - ♦ радиус зоны, в которой погибнет 99% людей, составляет 120 м, площадь — $45\,216\text{ м}^2$, а число погибших — 45 чел.;
 - ♦ радиус зоны, в которой погибнет от 90% до 99% (среднее 95%), составляет 150 м, площадь — $25\,434\text{ м}^2$, число погибших: $25 \cdot 0,95 = 24\text{ чел.}$;
 - ♦ радиус зоны, в которой погибнет от 50% до 90% (среднее 70%), составляет 170 м, площадь — $20\,096\text{ м}^2$, число погибших: $20 \cdot 0,7 = 14\text{ чел.}$;
 - ♦ радиус зоны, в которой погибнет от 10% до 50% (среднее 30%), составляет 205 м, площадь — $41\,212\text{ м}^2$, число погибших: $41 \cdot 0,3 = 12\text{ чел.}$;
 - ♦ общее число погибших может составить: $45 + 24 + 14 + 12 = 95\text{ чел.}$

Задача 2.2. Определить радиус зоны расстекления в случае аварии на газопроводе метана с давлением $2 \cdot 10^6$ Па. Температура воздуха в момент аварии -10°C (263 К), диаметр трубы газопровода 0,4 м, среднезагроможденное пространство.

Решение:

1. По справочникам находим молекулярный вес метана (CH_4) — 16 кг/кмоль.
2. По формуле (2.14) вычисляем плотность газа в трубопроводе:

$$\rho = \frac{M_V \cdot P}{R \cdot T} = \frac{16 \cdot 2 \cdot 10^6}{8314 \cdot 263} = 14,6\text{ кг/м}^3,$$

где M_V — молекулярный вес, кг/кмоль; R — газовая константа, Дж/кмоль/К; T — температура, К; P — давление в резервуаре, Па.

3. По формуле (2.13) определяем массу метана в облаке:

$$M = 66 \cdot S \sqrt{P \cdot \rho} = 66 \cdot 0,126 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^6 \cdot 14,6} = 44\,937 \text{ кг} \approx 45 \text{ т},$$

где S — площадь сечения трубы, м^2 :

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 0,126 \text{ м}^2.$$

4. По табл. П.2 находим класс окружающего пространства — 3-й класс.
5. По табл. П.3 определяем классификацию взрывоопасного вещества (метана) — 4-й класс.
6. По табл. П.4 находим режим взрывного превращения облака ТВС — 5-й режим.
7. По графику, приведенному на рис. П.14, определяем радиус зоны расстекления — 1600 м.

Задача 2.3. Определить, на каком расстоянии от горящего разлива мазута может произойти возгорание автомобильной резины.

Решение:

1. Из табл. П.7 определяем, что тепловой поток на поверхности пламени составит 60 кВт/м^2 .
2. Из табл. П.6 находим, что воспламенение автомобильной резины может произойти при воздействии теплового потока 15 кВт/м^2 через 900 с.
3. По формуле (2.18) определяем, на каком расстоянии может произойти возгорание автомобильной резины:

$$X = 33 \ln \left(1,25 \frac{Q_0}{q} \right) = 33 \ln \left(1,25 \frac{60}{15} \right) = 53 \text{ м},$$

где Q_0 — тепловой поток на поверхности факела, кВт/м^2 (табл. П.7);
 q — величина теплового потока, вызывающая воспламенение материалов, кВт/м^2 (табл. П.6), $q = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Задача 2.4. На железнодорожной станции при совершении маневров произошел взрыв двух вагонов с взрывчатыми веществами тротил — 50 700 кг и гексоген — 41 000 кг. Определить степень разрушения промышленных и жилых зданий и границы зон поражения людей, как результат воздействия основного поражающего фактора — воздушной ударной волны (ВУВ).

Решение:

1. Определяем класс конденсированного взрывного вещества (табл. П.8) — 2-й класс.
2. Находим общую массу взрывчатых веществ в пересчете на тротильный эквивалент (табл. П.9):

$$50\,700 + 41\,000 \cdot 1,3 = 104\,000 \text{ кг.}$$

3. Определяем степени разрушения зданий (табл. П.19):
 - 1) промышленные здания получают следующие разрушения:
 - ◆ полную степень разрушения — на расстоянии 330 м;
 - ◆ сильную степень разрушения — на расстоянии 100 м;
 - ◆ среднюю степень разрушения — на расстоянии 2000 м;
 - ◆ слабую степень разрушения — на расстоянии 2900 м;
 - 2) жилые здания получают следующие разрушения:
 - ◆ полную степень разрушения — на расстоянии 450 м;
 - ◆ сильную степень разрушения — на расстоянии 1100 м;
 - ◆ среднюю степень разрушения — на расстоянии 2100 м;
 - ◆ слабую степень разрушения — на расстоянии 3000 м.
4. Находим размеры зоны расстекления зданий (табл. П.21), она составит 420 м.
5. Определим границы зон поражения людей с различным процентом выживших (рис. П.23):
 - ◆ 99% пораженных — 70 м;
 - ◆ 90% пораженных — 80 м;
 - ◆ 50% пораженных — 90 м;
 - ◆ 10% пораженных — 100 м;
 - ◆ 1% пораженных — 110 м;
 - ◆ порог поражения — 170 м.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Степени разрушения зданий и сооружений

Степень разрушения	Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений
Полная	Разрушение и обрушение всех элементов зданий и сооружений (включая подвалы)
Сильная	Разрушение части стен и перекрытий верхних этажей, образование трещин в стенах, деформация перекрытий нижних этажей; возможно ограниченное использование сохранившихся подвалов после расчистки входов
Средняя	Разрушение главным образом второстепенных элементов (крыш, перегородок, оконных и дверных заполнений), перекрытия, как правило, не обрушаются. Часть помещения пригодна для использования после расчистки от обломков и проведения ремонта
Слабая	Разрушение оконных и других заполнений и перегородок. Подвалы и нижние этажи полностью сохраняются и пригодны для временного использования после уборки мусора и заделки проемов

Таблица П.2

Характеристики классов пространства, окружающего место потенциальной аварии

Номер класса	Характеристика пространства
1	Наличие труб, полостей и т.д.
2	Сильнозагроможденное пространство: наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий
3	Среднезагроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк
4	Слабозагроможденное и свободное пространство

Таблица П.3

Классификация взрывоопасных веществ

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
Ацетилен C_2H_2	Акрилонитрил $CH_2 = CH\ CN$	Ацетальдегид	Бензол C_6H_6
Винилацетилен	Акролеин	Ацетон C_3H_6O	Декан $C_{10}H_{22}$
Водород H_2	Аммиак NH_3	Бензин	Дизтопливо
Гидразин	Бутан C_4H_{10}	Винилацетат	Дихлорбензол
Метилацетилен	Бутилен	Винилхлорид	Додекан
Нитрометан	Пентадиен	Гексан C_6H_{14}	Керосин
Окись пропилена C_3H_6O	Бутадиен	Генераторный газ	Метан CH_4
Изопропилнитрат	Пропан C_3H_8	Изооктан C_8H_{18}	Метилбензол
Окись этилена C_2H_4O	Пропилен C_2H_6	Метиламин	Метилмеркаптан
Этилнитрат C_2H_5ONO	Сероуглерод	Метилацетат $C_3H_6O_2$	Метилхлорид
—	Этан CH_3CH_3	Метилбутил	Нафталин $C_{10}H_8$
—	Этилен C_2H_4	Кетон	Окись углерода CO
—	Эфиры:	Метилпропил	Фенол
—	Диметиловый C_2H_6O	Метилэтил	Хлорбензол C_6H_5Cl
—	Дивиниловый	Октан $CH_3(CH_2)_6CH_3$	Этилбензол $C_6H_5C_2H_5$
—	Метилбутиловый	Пиридин	—
—	—	Сероводород	—
—	—	Спирты:	—
—	—	Метиловый CH_3OH	—
—	—	Этиловый C_2H_5OH	—
—	—	Пропиловый	—
—	—	Амиловый	—
—	—	Изобутиловый	—
—	—	Изопропиловый	—
—	—	Циклогексан $C_6H_{10}O$	—
—	—	Этилформиат	—
—	—	Этилхлорид	—

Примечание. В случае, если вещество не внесено в классификацию (табл. П.3), его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в списке веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества, его следует отнести к классу 1, т.е. рассматривать как наиболее опасный случай.

Таблица П.4

Режимы взрывного превращения облаков ТВС

Класс топлива	Класс окружающего пространства			
	1	2	3	4
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Таблица П.5

**Значения теплового потока на поверхности огневого шара
диаметром более 10 м**

Вещество	Тепловой поток, кВт/м ²
Бутан C ₄ H ₁₀	170
Этан C ₂ H ₆	190
Этилен C ₂ H ₄	180
Метан CH ₄	200
Пропан C ₃ H ₈	195

Таблица П.6

**Тепловые потоки, вызывающие воспламенение некоторых
материалов**

Материал	Тепловой поток (кВт/м ²), вызывающий воспламенение за время (с)			
	15	180	300	900
Древесина	53	19	17	14
Кровля мягкая	46	—	—	—
Парусина	36	—	—	—
Конвейерная лента	37	—	—	—
Резина автомобильная	23	22	19	15
Каучуксинтетический	23	—	—	—
Слоистый пластик	—	22	19	15
Пергамин	—	22	20	17

Примечание. Прочерки означают отсутствие данных.

Таблица П.7

Тепловой поток на поверхности факела от горящих разлитий

Вещество	Тепловой поток, кВт/м ²
Ацетон	80
Бензин	130
Дизельное топливо	130
Гексан	165
Метанол	35
Метилацетат	50
Винилацетат	60
Аммиак	30
Керосин	90
Нефть	80
Мазут	60

Таблица П.8

Классификация конденсированных взрывчатых веществ

Класс вещества		
1	2	3
ТЭН Нитроглицерин Октоген	Гексоген ТГ 50/50 ТГ 40/60	Нитрометан Нитрогуанидин Тетрил Нитрат аммония ТНТ

Примечание. В случае, если вещество не внесено в классификацию, его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в списке веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества, его следует отнести к классу 1, т.е. рассматривать наиболее опасный случай.

Таблица П.9

**Значение коэффициента ($K_{эфф}$) различных видов
конденсированных взрывчатых веществ к тротилу**

Вид взрывчатого вещества	Тротил	Тритонол	Гексоген	ТЭН	Аммонал	Порох	ТНРС	Тетрил
$K_{эфф}$	1	1,53	1,3	1,39	0,99	0,66	0,39	1,15

Таблица П.10

Параметры зон поражения при заданной мощности взрыва

Для избыточного давления, кПа	Мощность взрыва (Мт)															
	0,02				0,1				0,2				0,3			
	Радиус, км		Площадь суммарная, км ²		Радиус, км		Площадь суммарная, км ²		Радиус, км		Площадь суммарная, км ²		Радиус, км		Площадь суммарная, км ²	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
1000	0,18	0,27	0,1	0,22	0,32	0,46	0,32	0,66	0,4	0,6	0,5	1,05	0,46	0,67	0,66	1,4
500	0,24	0,37	0,18	0,43	0,4	0,6	0,5	1,1	0,5	0,8	0,78	2,0	0,58	0,9	1,05	2,5
200	0,4	0,54	0,5	9,0	0,7	0,92	1,5	2,7	0,9	1,2	2,5	4,5	0,98	1,35	2,9	5,7
100	0,6	0,75	1,1	1,7	1,0	1,25	3,1	4,9	1,3	1,6	5,3	8,0	1,4	1,9	6,1	11,3
80	0,7	0,85	1,5	2,3	1,2	1,45	4,5	6,6	1,7	2,0	8,5	12,5	1,9	2,3	11,3	16,6
50	0,97	1,1	3,0	3,8	1,6	1,9	8,0	11,3	2,1	2,3	13,8	16,6	2,4	2,7	18,0	23,0
40	1,1	1,23	3,8	4,9	2,0	2,15	12,5	14,5	2,5	2,8	19,6	24,6	2,9	3,1	26,4	30,1
30	1,45	1,45	6,6	6,6	2,5	2,5	19,6	19,6	3,2	3,2	32,2	32,2	3,6	3,6	40,7	40,7
20	2,0	1,85	12,5	10,7	3,5	3,2	38,5	32,1	4,4	4,0	60,8	50,2	5,0	4,6	78,5	66,5
10	3,8	3,2	45,5	32,2	6,5	5,2	132,0	85,0	8,2	6,5	24,0	1320	9,4	7,4	277,0	172,0
8	5,0	4,2	78,5	55,4	7,6	6,3	181,0	125,0	9,5	8,5	2830	226,0	11,2	9,6	394,0	289,0
5	7,2	6,8	163,0	137,0	12,0	9,0	452,0	254,0	14,0	11,0	615,0	380,0	15,6	13,2	764,0	547,0
1	11,0	8,4	380,0	221,0	18,6	14,5	1100,0	660,0	23,4	18,0	1700,0	1000,0	26,0	20,4	2100,0	1300,0

Примечание. В — воздушный взрыв; Н — наземный взрыв.

Продолжение табл. П.10

Для избы- точного давления, кПа	Мощность взрыва (Мт)															
	0,5				1,0				2,0				3,0			
	Радиус, км		Площадь суммар- ная, км ²		Радиус, км		Площадь суммар- ная, км ²		Радиус, км		Площадь суммар- ная, км ²		Радиус, км		Площадь суммар- ная, км ²	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
1000	0,6	0,8	1,2	2,6	0,7	1,0	1,5	3,1	0,9	1,3	2,5	5,3	1,0	1,5	3,1	7,1
500	0,7	1,1	1,5	3,8	0,9	1,4	2,5	6,1	1,2	1,7	4,5	9,0	1,4	2,0	6,1	12,5
200	1,1	1,6	3,8	8,0	1,4	2,0	6,1	12,5	1,8	2,5	10,1	19,6	2,1	2,9	13,8	26,4
100	1,7	2,1	9,0	13,8	2,2	2,7	15,2	22,9	2,7	3,4	23,0	36,3	3,2	4,0	32,2	50,2
80	2,0	2,4	12,5	18,0	2,6	3,1	21,2	30,2	3,3	3,9	34,2	47,7	3,7	4,6	43,0	66,4
50	3,0	3,2	28,3	32,2	3,6	4,0	40,7	50,2	4,6	5,1	66,5	81,7	5,0	5,7	78,5	102,0
40	3,4	3,6	36,3	40,7	4,3	4,5	58,0	63,6	5,5	5,7	95,0	102,0	6,2	6,5	121,0	133,0
30	4,2	4,4	55,4	60,8	5,3	5,4	88,2	91,6	6,8	7,0	145,0	154,0	7,8	8,0	191,0	201,0
20	6,0	5,5	113,0	95,0	7,5	7,0	177,0	154,0	9,6	8,8	289,0	243,0	11,0	10,0	380,0	314,0
10	11,3	9,0	401,0	254,0	14,0	11,1	615,0	387,0	18,0	14,2	1000,0	633,0	20,6	16,2	1300,0	824,0
8	13,4	11,0	564,0	380,0	17,0	13,8	907,0	598,0	21,0	17,0	1400,0	907,0	24,0	20,0	1800,0	1200,0
5	16,6	16,5	865,0	855,0	22,0	20,0	1500,0	1200,0	28,0	26,0	2500,0	2100,0	32,0	30,0	3200,0	2800,0
1	32,0	25,0	3200,0	1900,0	40,0	31,0	5000,0	3000,0	1,0	39,0	8200,0	4800,0	58,0	45,0	10 500	6300,0

Примечание. В — воздушный взрыв; Н — наземный взрыв.

Окончание табл. П.10

Для избы- точного давления, кПа	Мощность взрыва (Мт)											
	5,0				10,0				30,0			
	Радиус, км		Площадь сум- марная, км ²		Радиус, км		Площадь сум- марная, км ²		Радиус, км		Площадь сум- марная, км ²	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
1000	1,3	1,9	5,3	11,3	1,6	2,2	8,9	15,2	2,8	3,4	24,6	36,3
500	1,8	2,4	8,0	18,0	2,0	2,9	12,5	26,4	3,5	4,9	38,4	50,2
200	2,5	3,4	19,6	36,3	3,1	4,3	30,2	58,0	4,5	5,2	63,6	85,0
100	3,8	4,7	45,3	69,3	4,6	6,1	66,4	117,0	6,3	7,5	125,0	177,0
80	4,4	5,4	60,8	91,6	5,5	6,7	95,0	141,0	6,8	8,5	137,0	227,0
50	6,3	6,8	125,0	137,0	7,8	8,5	91,0	227,0	9,0	11,0	254,0	346,0
40	7,5	7,8	177,0	191,0	9,2	9,5	266,0	277,0	11,3	12,0	401,0	415,0
30	9,2	9,3	272,0	254,0	11,3	12,0	401,0	452,0	14,0	15,0	616,0	530,0
20	13,0	12,0	530,0	452,0	16,0	15,0	804,0	707,0	22,0	20,0	1500,0	1300,0
10	24,0	19,5	1800,0	1200,0	31,0	24,0	3000,0	1800,0	38,0	28,0	4500,0	2500,0
8	29,0	24,0	2600,0	1800,0	36,0	30,0	4000,0	2800,0	48,0	38,0	7200,0	4500,0
5	38,0	37,0	4500,0	4300,0	48,0	44,0	7200,0	6000,0	62,0	52,0	12 000	8500,0
1	69,0	53,0	15 000	8800,0	87,0	67,0	24 000	14 000	110,0	85,0	38 000	22 000

Примечание. В — воздушный взрыв; Н — наземный взрыв.

Таблица П.1.1

Избыточное давление (кПа), характеризующее степень разрушения

Объекты разрушения			Степень разрушения		
			Сильное	Среднее	Слабое
Защитные сооружения	Отдельно стоящие, рассчитанные на давление	350 кПа	750–600	600–500	500–350
		100 кПа	300–200	200–150	150–100
	Подвальные, рассчитанные на давление	100 кПа	200–150	150–100	100–70
		50 кПа	100–60	60–40	40–30
	Дерево-землян., рассчит. на давл.	30 кПа	80–60	60–40	40–20
	Подвалы без усиления		100–80	80–30	30–20
Промышленные и жилые здания	Промышленные сооружения	С тяжелым металлическим каркасом	60–40	40–30	30–10
		С легким каркасом или без каркаса	50–30	30–20	20–10
		Доменные печи	80	40	20
	Электростанция	Тепловые и атомные	45	35	25
		То же антисейсмич. конструкции	300–200	200–150	30–25
	Здания	Бетонные, ж.б., антисейсм. констр.	200–150	150–80	80–30
		Кирпичные	30–20	20–12	12–8
		Деревянные	20–12	12–8	8–6
	Разрушение остекления здания		5–3	3–2	2–1

Продолжение табл. П.11

Объекты разрушения			Степень разрушения		
			Сильное	Среднее	Слабое
Гидросооружения	Плотины	Бетонные	5000	5000–2000	2000–1000
		Земляные, шириной 20–100 м	1000	1000–700	700–150
	Затворы плотины		100	100–70	70–20
	Здания ГЭС		300–200	200–100	100–50
Мосты, дороги, аэродромы, метро	Мосты	Металлические, пролетом до 45 м	250	250–150	150–100
		Ж.б. пролетом до 25 м	200	200–100	100–50
		Деревянные, низководные	100	80–50	50–20
	Шоссейные дороги с твердым покрытием		2000–1000	1000	300–120
	Пути железнодорожные		300	300–150	150–100
	Аэродромы с бетонным покрытием		2000	1500	400–300
	Метро	Глубокого заложения	2000	2000–1200	1200–1000
		Мелкого заложения	200	200–60	60–50
Машины	Станки		65	60–40	25
	Краны и крановое оборудование		70–50	50–35	20–10
	Подъемно-транспортное оборудование		80–60	60–50	20
	Кузнечно-прессовое оборудование		200–150	110–100	50
	Автомобили грузовые, цистерны		40	30	20
	Тракторы гусеничные		65	45	30
	Подвижной железнодорожный состав		80	50	30

Окончание табл. П.11

Объекты разрушения				Степень разрушения		
				Сильное	Среднее	Слабое
Сооружения сети коммун хозяйства, энергетики, связи	Подстанции трансформат. и распределит.			70–60	60–40	40–30
	Вышки металлические сквозн. конструкц			50	30	20
	Водонапорные башни			70	60	30–20
	Резервуары чистой воды, заглубленные			200	200–50	50–20
	Газгольдеры			100	70	20
	Сети коммун хозяйства	Подземные водо-, газо-, канализ.		1500–1000	1000–600	600–130
		Смотровые колодцы, задвижки		1000	600	400–200
		Трубопроводы	Наземные	130	50	20
			Заглубленные до 0,7 м	500	350–250	200–150
	Электросети	Кабельн. линии	Наземные	100–70	50–30	30–10
			Подземные	1500–1000	1000–800	800
		Воздушные линии высок. напряжения		120–80	70–50	40–20
		Силовые линии электрофиц. ж.д.		70	60	50
	Стационарные воздушные линии связи			120–80	70–50	20
Антенные устройства			40	40–20	20–10	

Таблица П.12

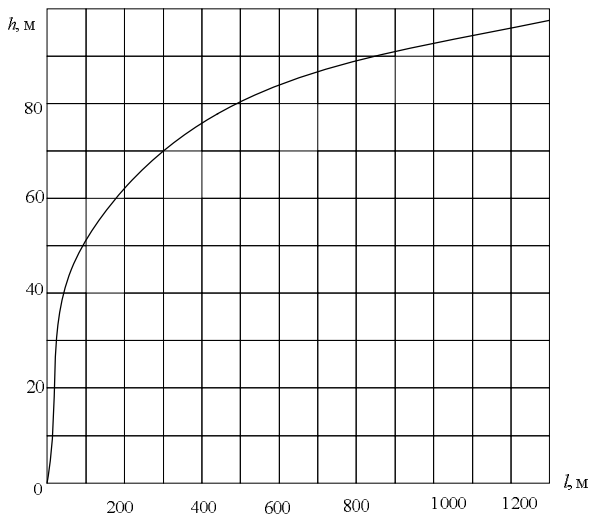
Избыточное давление, при котором возникает сплошной завал (кПа)

Этажность	Ширина улицы, м		
	10–20	20–40	40–60
2–3	50	90	—
4–5	40	70	110
6–8	30	50	100

Таблица П.13

Высота сплошного завала, в метрах, в зависимости от плотности застройки и этажности зданий

Плотность застройки %	Этажность							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20	0,3	0,6	1,0	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
25	0,4	0,7	1,2	1,6	1,9	2,3	2,4	2,6
30	0,5	0,9	1,5	1,9	2,2	2,8	2,9	3,1
40	0,6	1,2	2,0	2,5	3,0	3,7	3,8	4,2
50	0,8	1,5	2,5	3,1	3,8	4,6	4,8	5,2
60	0,9	1,7	3,0	3,8	4,5	5,6	5,8	6,2

**Рис. П.1.** График функции распределения дрейфа облака ТВС

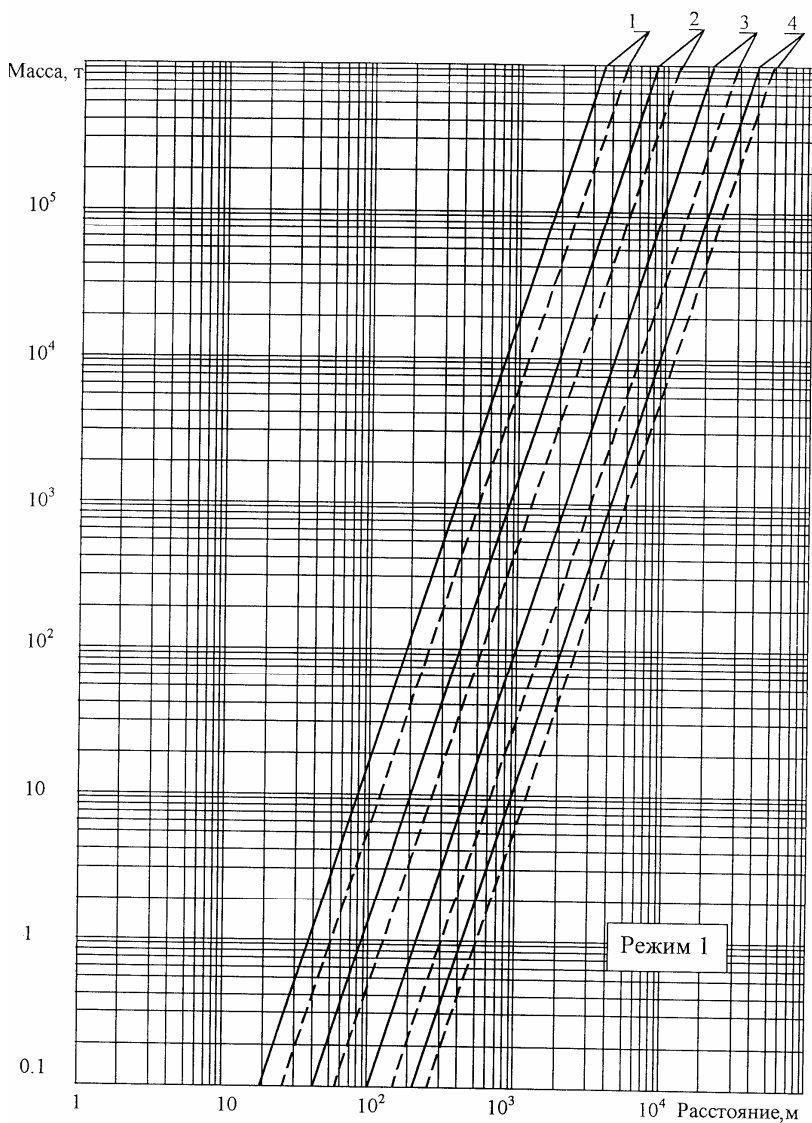


Рис. П.2. Зависимость степеней разрушения зданий
от массы топлива и расстояния

1, 2, 3, 4 — границы зон полных, сильных, средних и слабых разрушений;
«——» — промышленные здания; «---» — жилые здания

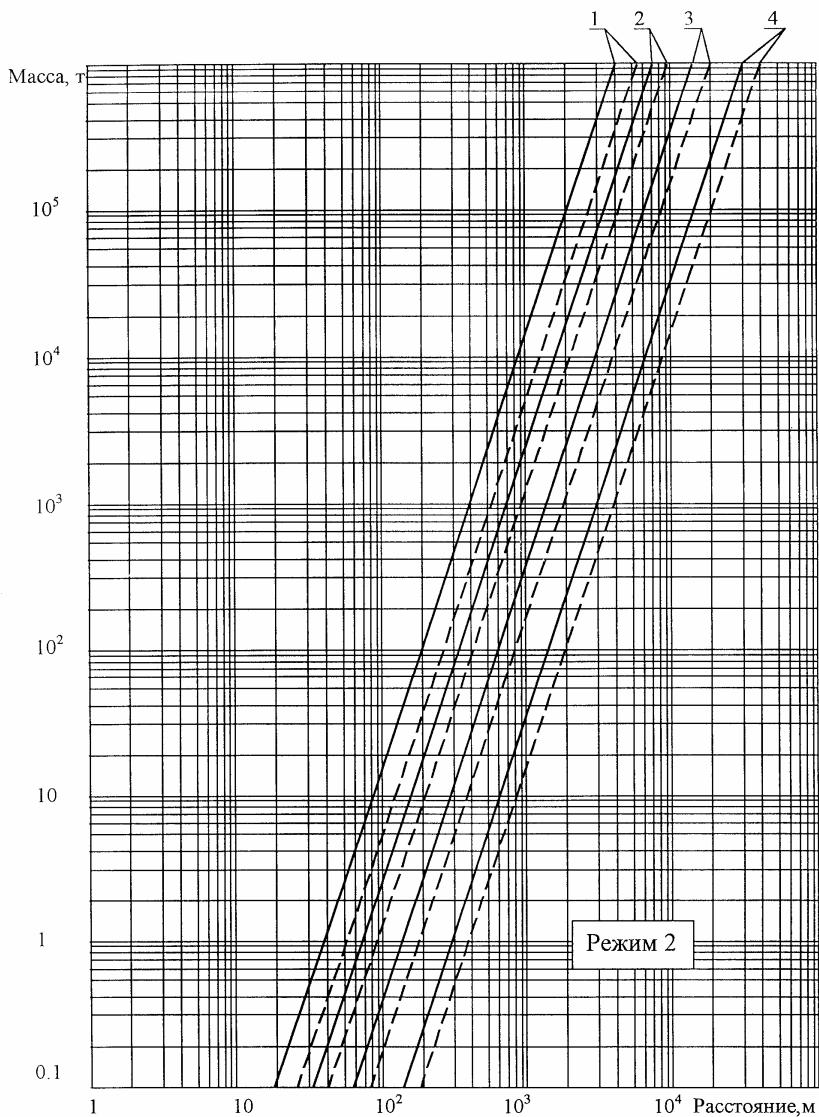


Рис. П.3. Зависимость степеней разрушения зданий от массы топлива и расстояния КВВ;

1, 2, 3, 4 — границы зон полных, сильных, средних и слабых разрушений;
 «——» — промышленные здания; «---» — жилые здания

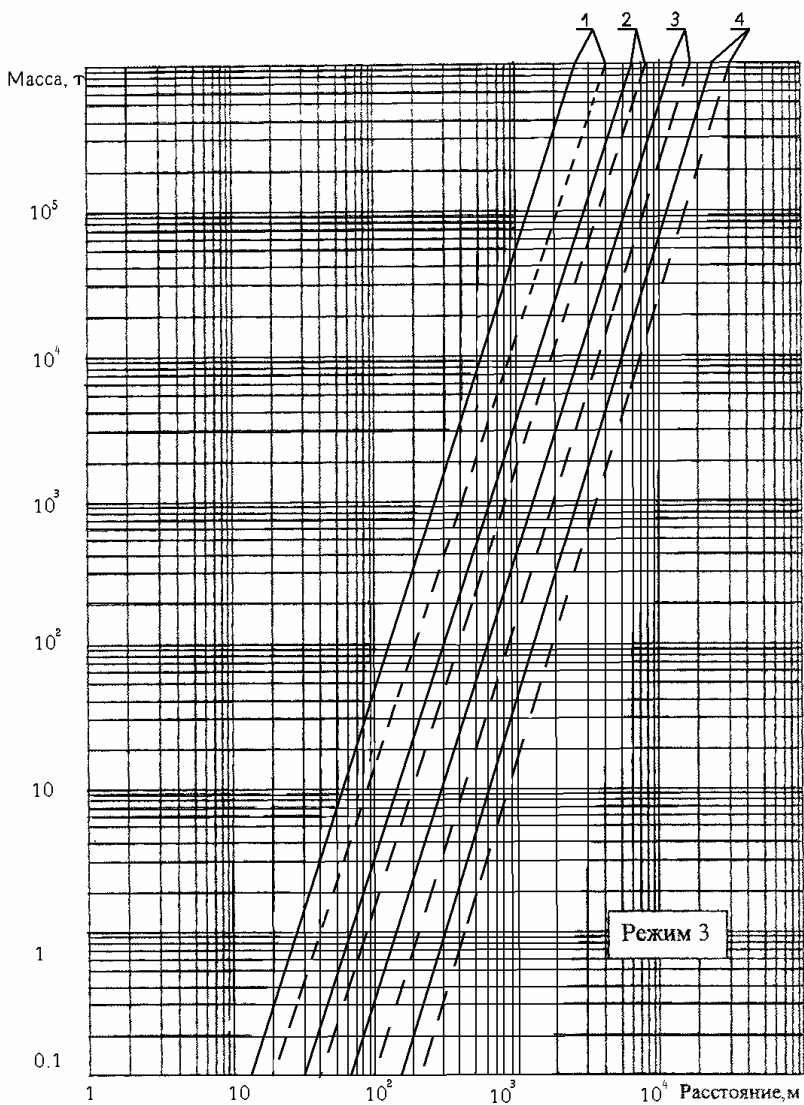


Рис. П.4. Зависимость степеней разрушения зданий
от массы топлива и расстояния;

1, 2, 3, 4 — границы зон полных, сильных, средних и слабых разрушений;
«—» — промышленные здания; «---» — жилые здания

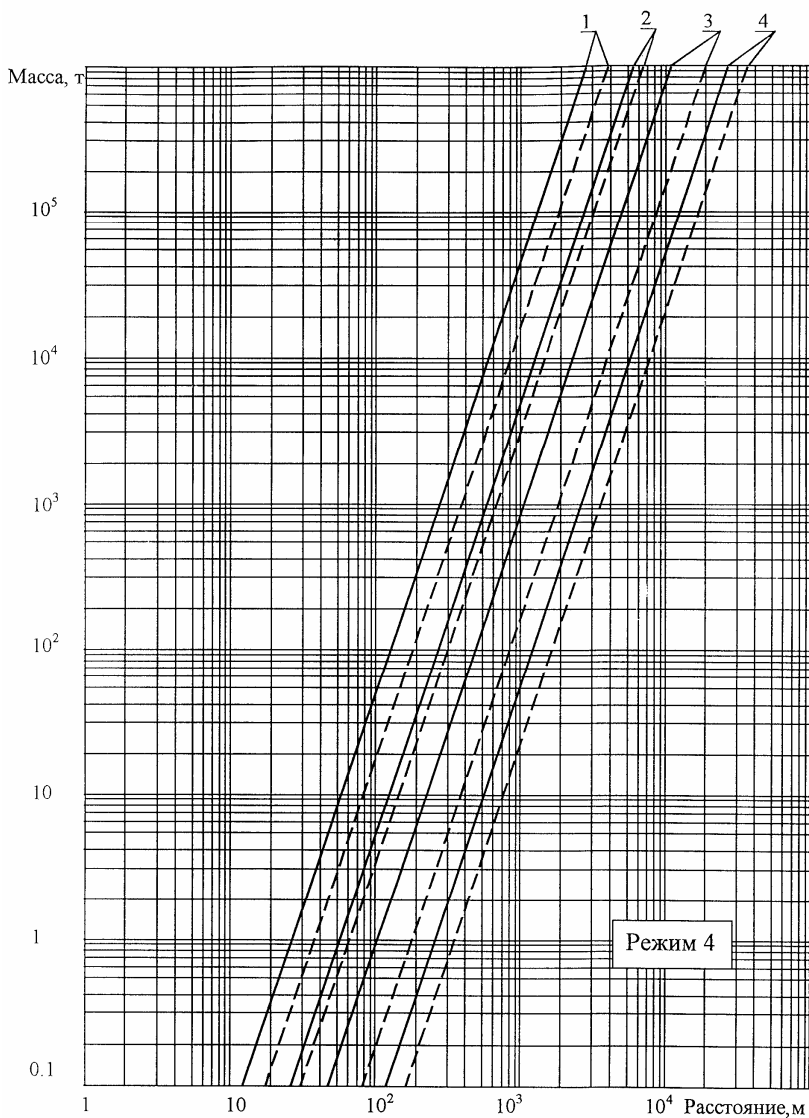


Рис. П.5. Зависимость степеней разрушения зданий
от массы топлива и расстояния КВВ;
1, 2, 3, 4 — границы зон полных, сильных, средних и слабых разрушений;
«——» — промышленные здания; «- - -» — жилые здания

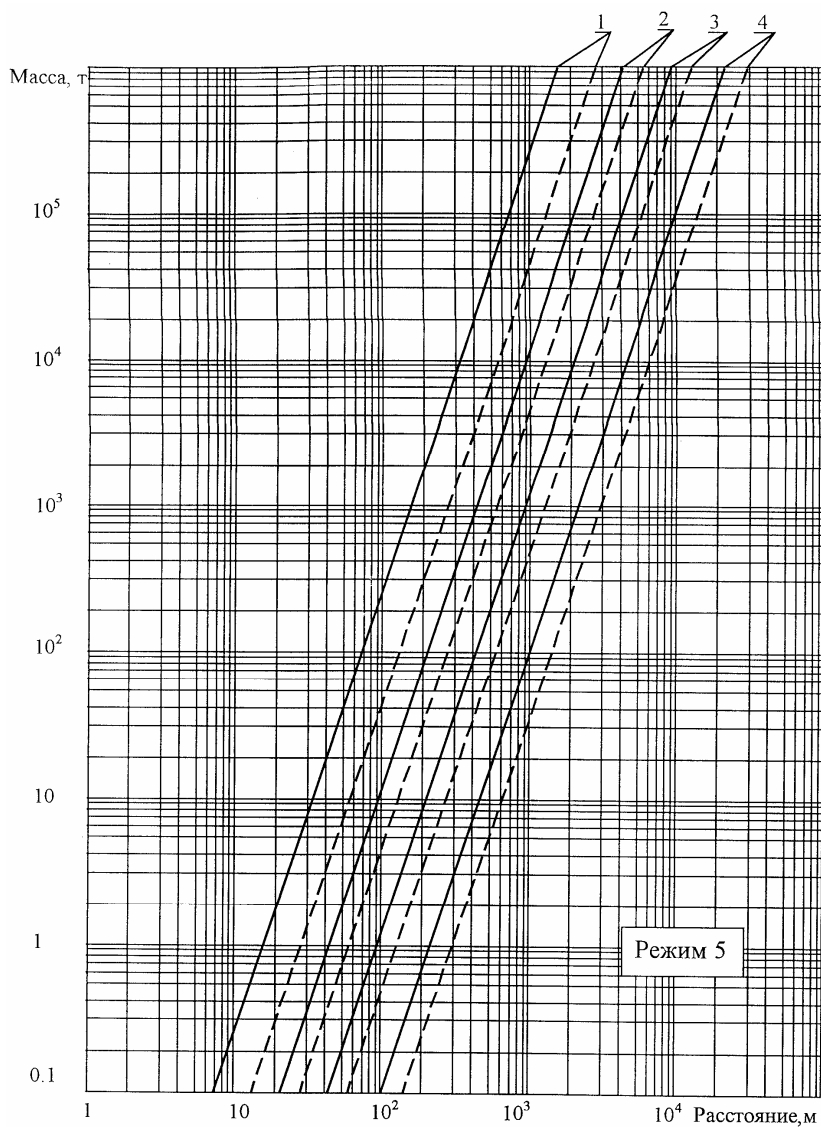


Рис. П.6. Зависимость степеней разрушения зданий
от массы топлива и расстояния КВВ;

1, 2, 3, 4 — границы зон полных, сильных, средних и слабых разрушений;
«—» — промышленные здания; «---» — жилые здания

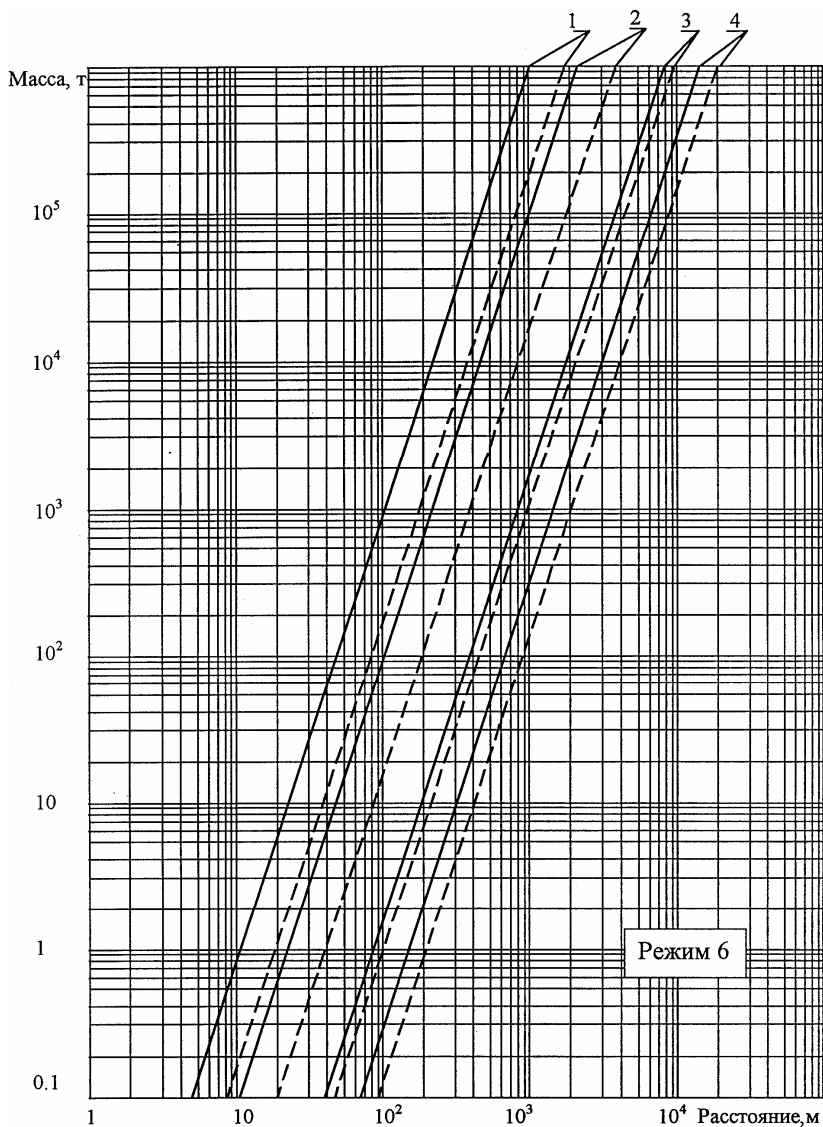


Рис. П.7. Зависимость степеней разрушения зданий от массы топлива и расстояния КВВ;

1, 2, 3, 4 — границы зон полных, сильных, средних и слабых разрушений;
 «—» — промышленные здания; «- - -» — жилые здания

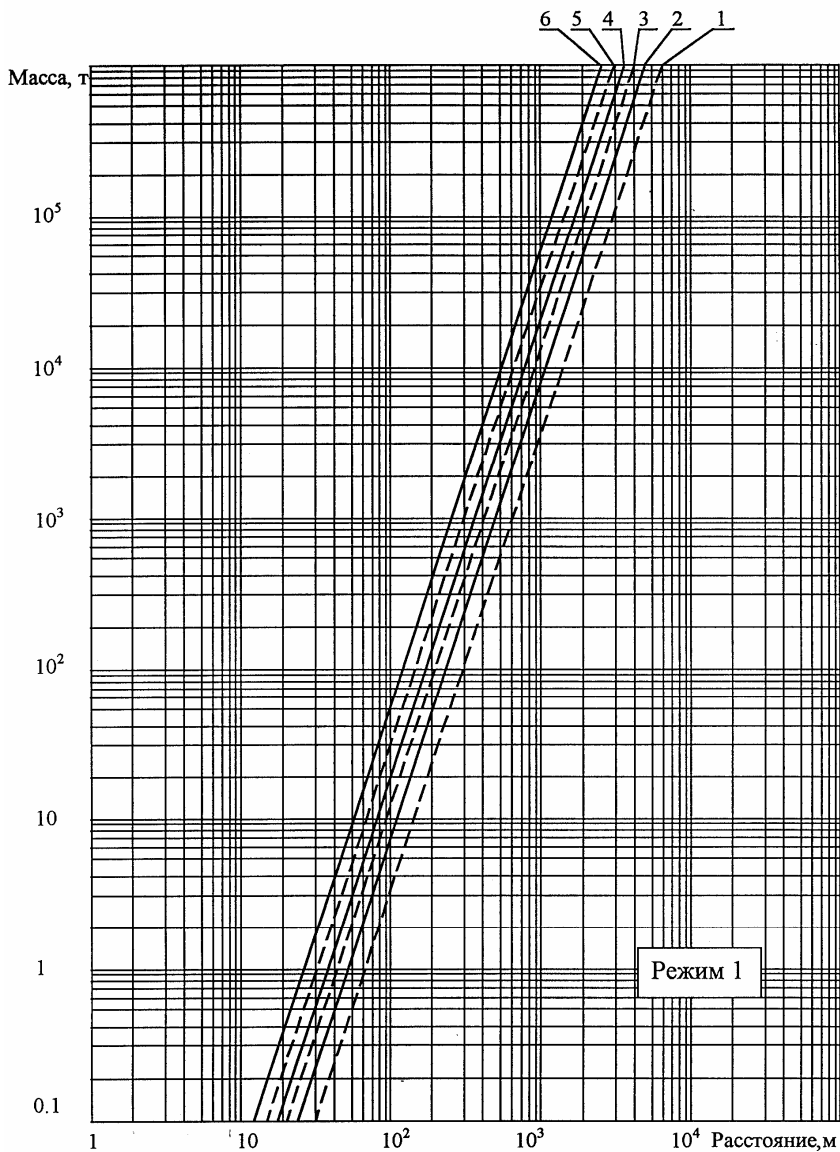


Рис. П.8. Границы зон поражения людей при взрывах облаков ТВС;

1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

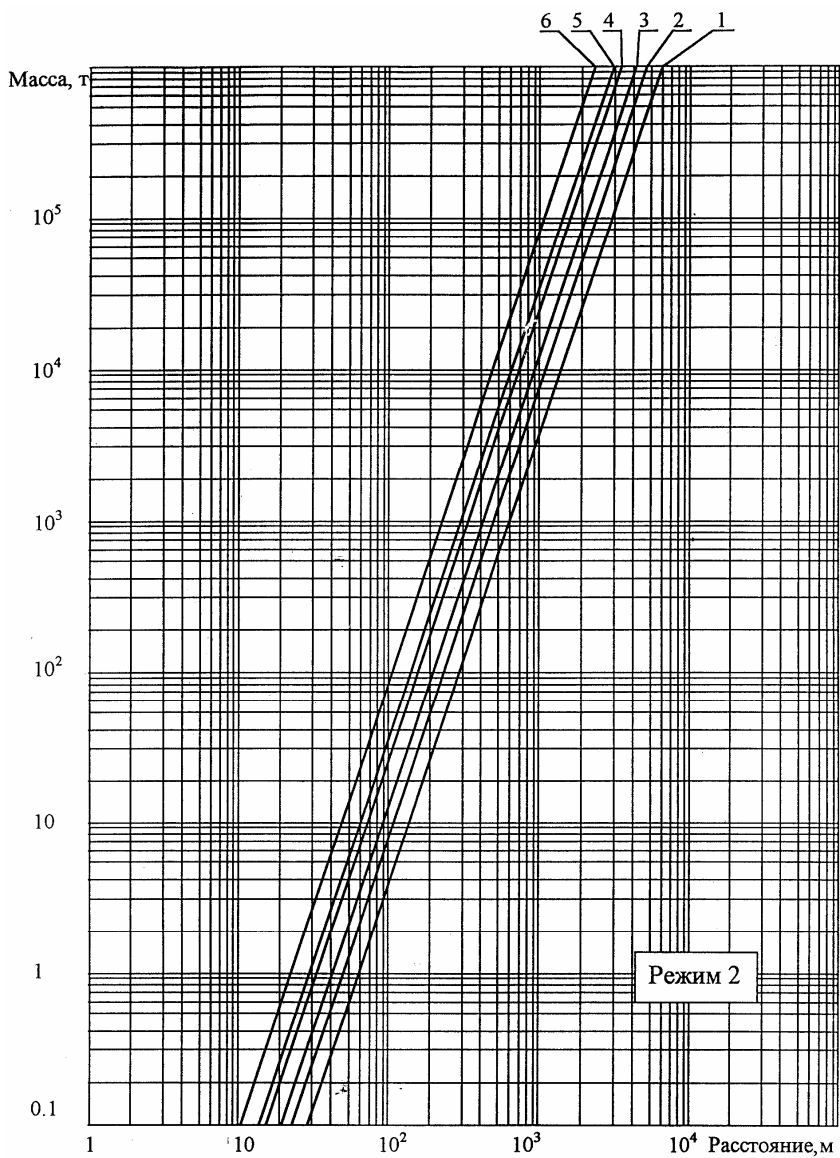


Рис. П.9. Границы зон поражения людей при взрывах облаков ТВС;

1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

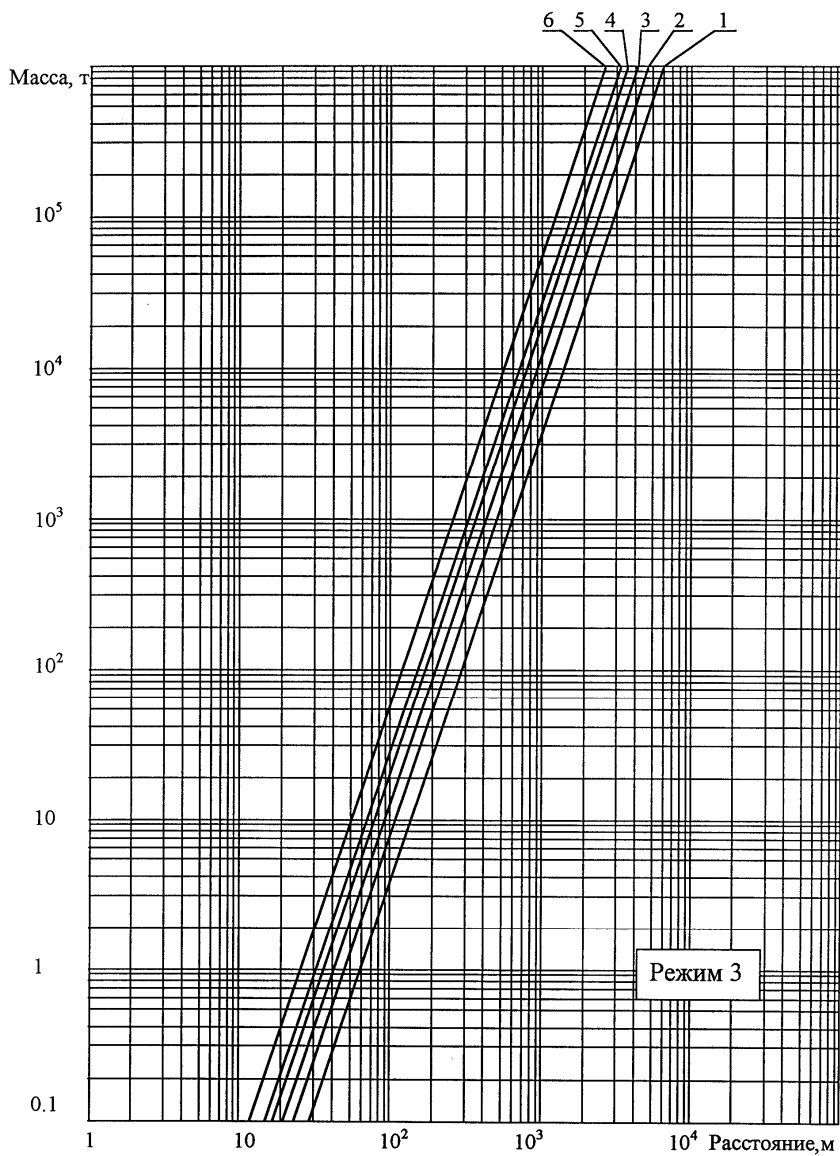


Рис. П.10. Границы зон поражения людей при взрывах облаков ТВС;

1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

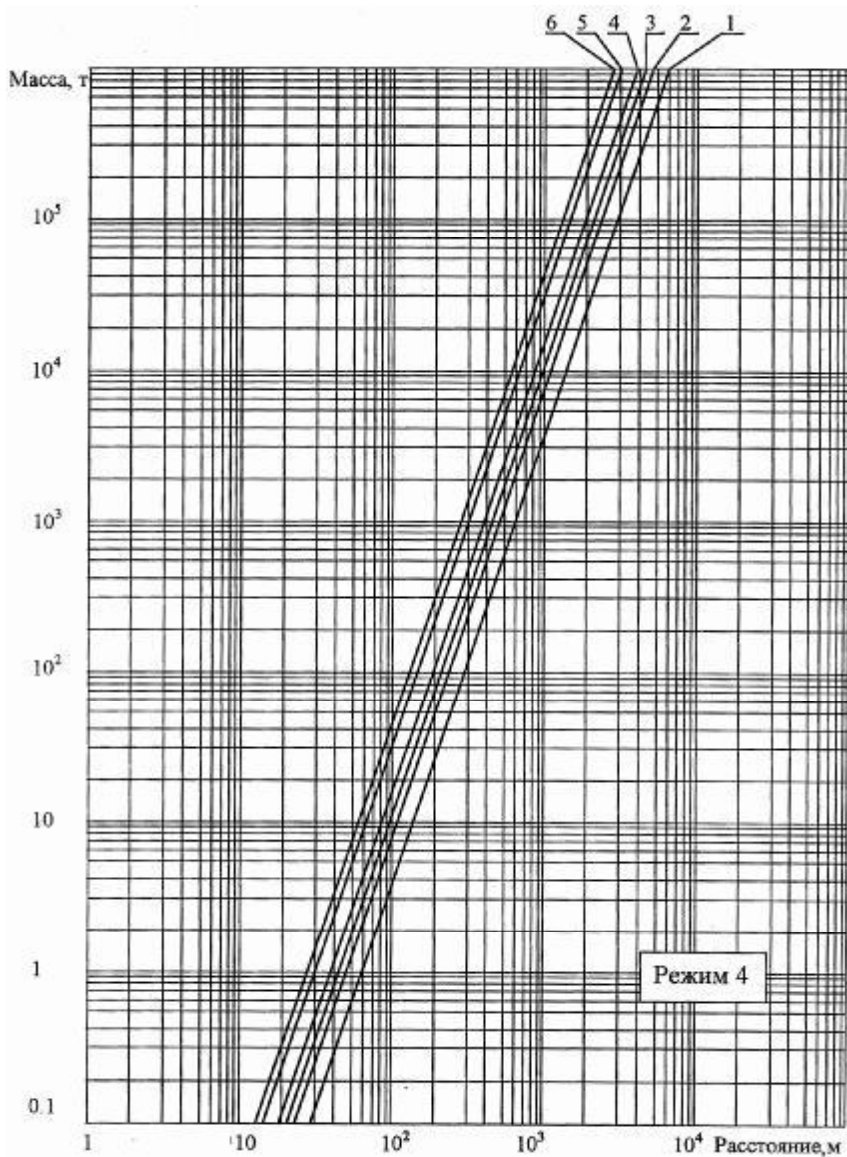


Рис. П.11. Границы зон поражения людей при взрывах облаков ТВС;

1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

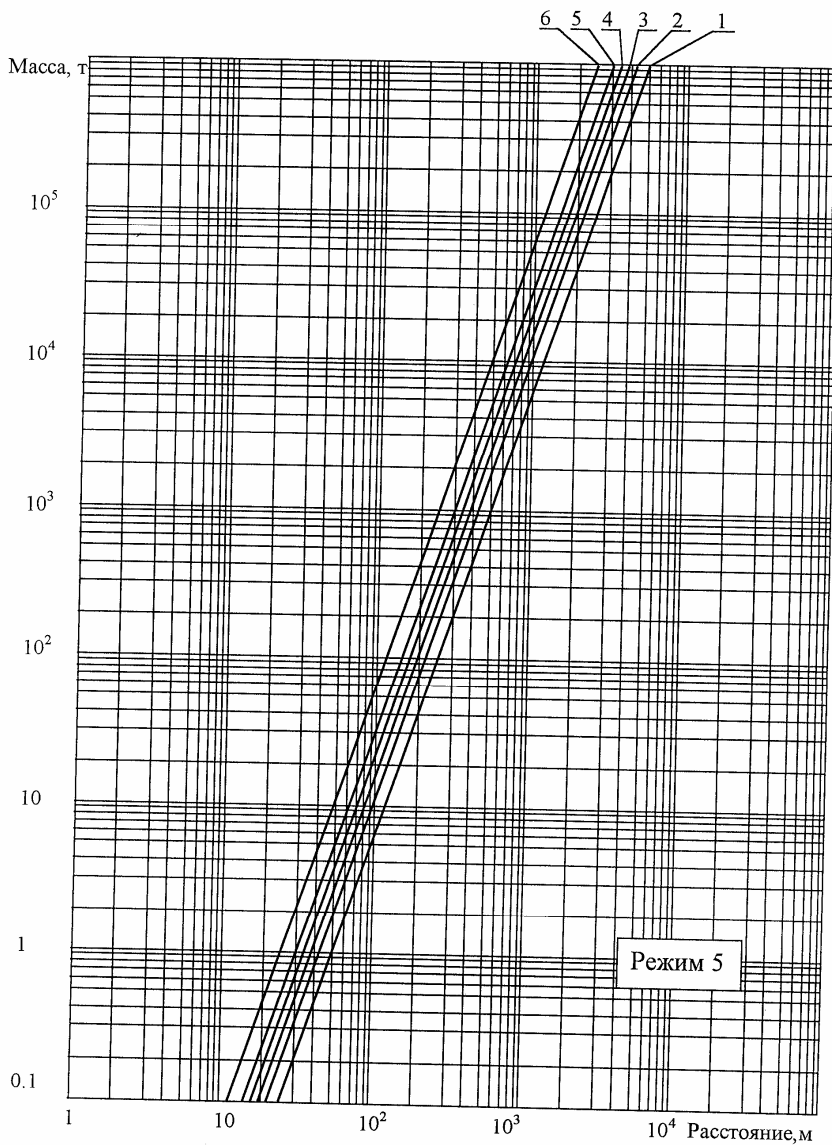


Рис. П.12. Границы зон поражения людей при взрывах облаков ТВС;
 1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
 4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

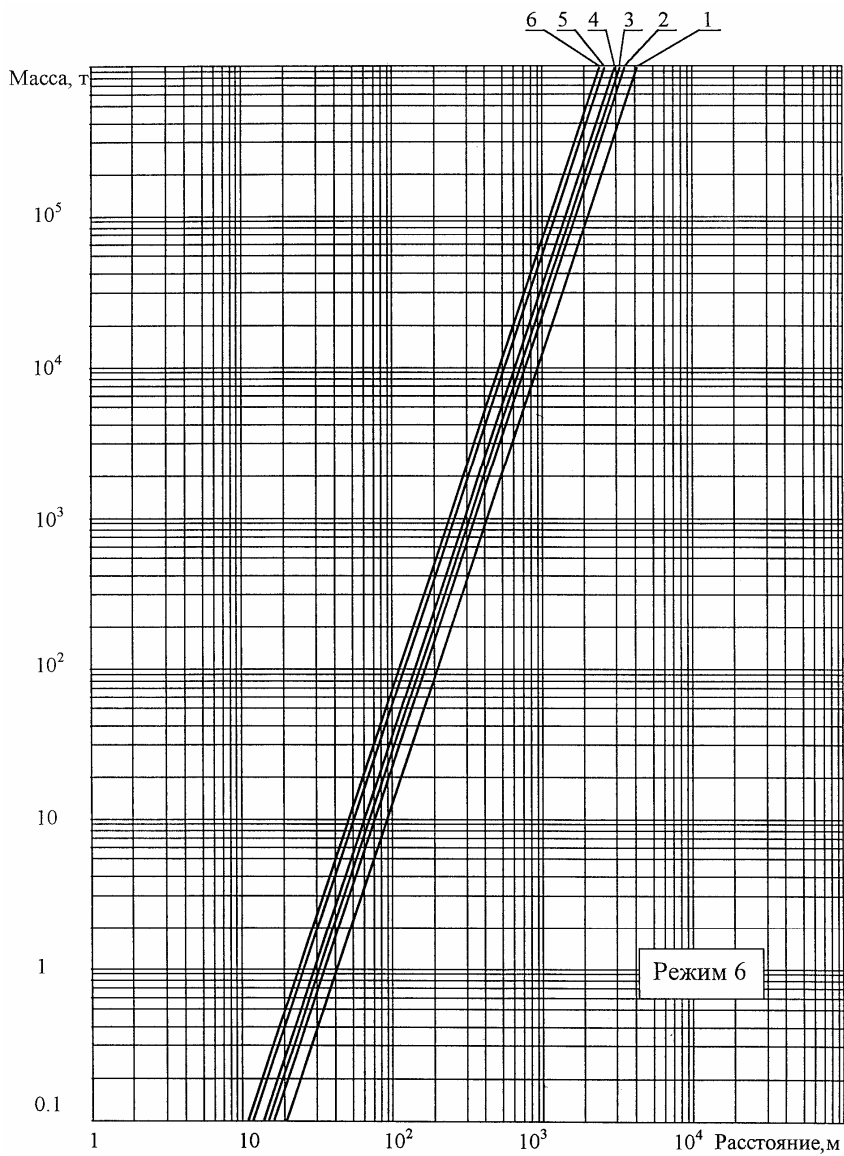


Рис. П.13. Границы зон поражения людей при взрывах облаков ТВС;

1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

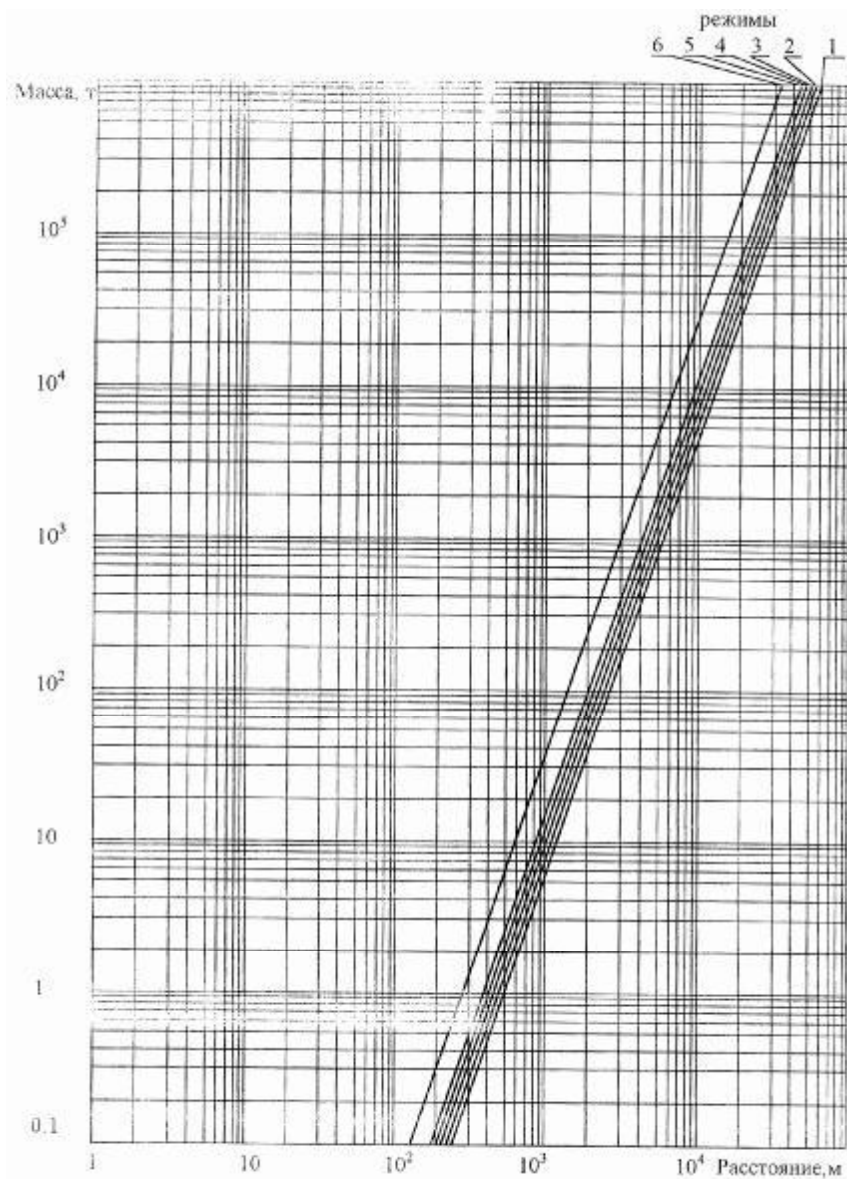


Рис. П.14. Размеры зоны расстекления при различных режимах взрывного превращения облака ТВС

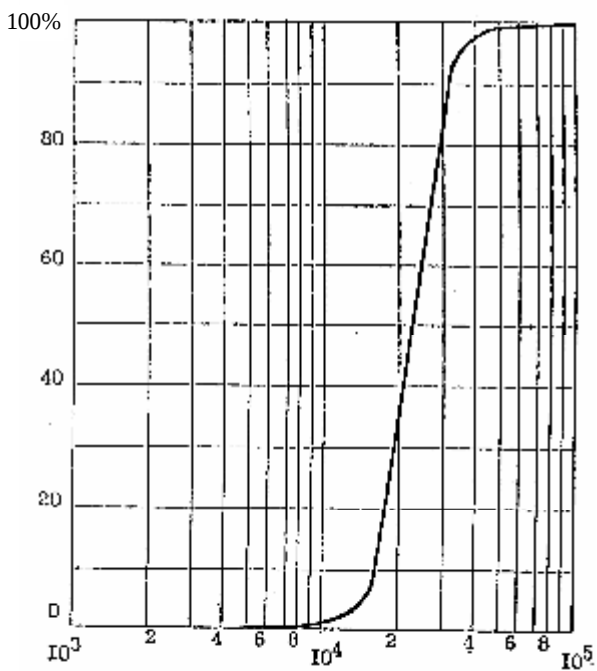


Рис. П.15. Процент смертельных исходов в зависимости от индекса дозы теплового излучения I

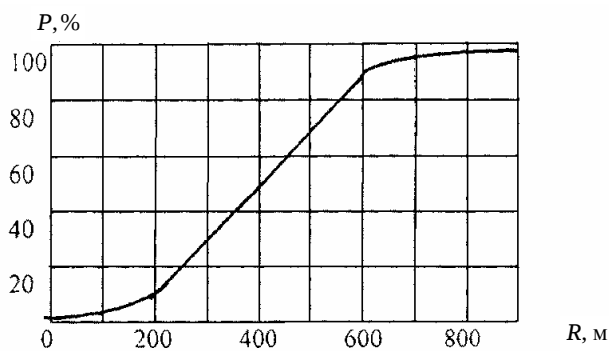


Рис. П.16. График функции распределения дальности разлета осколков резервуара

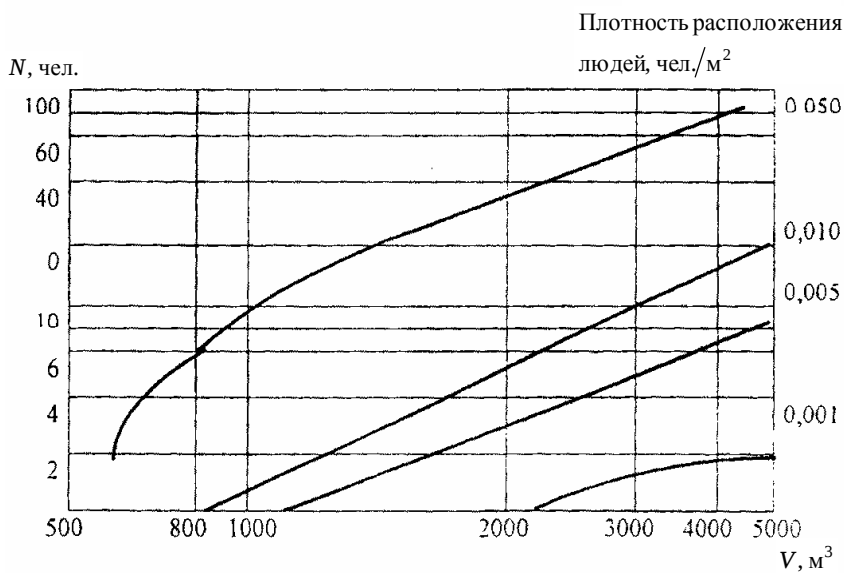


Рис. П.17. Число пораженных людей при взрыве сосудов высокого давления в зависимости от объема сосуда и плотности расположения людей, чел./ м^2

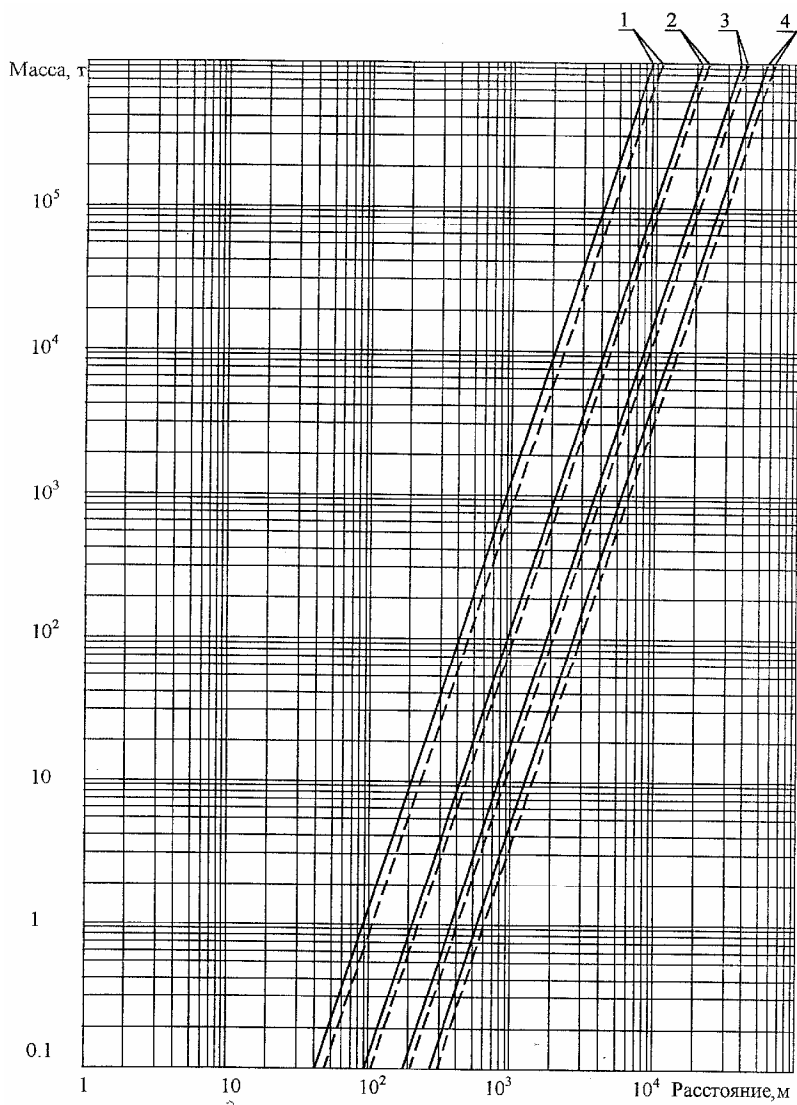


Рис. П.18. Зависимость степеней разрушения зданий от массы и расстояния 1-го класса КВВ;

1 — полная степень разрушения; 2 — сильная степень разрушения;
 3 — средняя степень разрушения; 4 — слабая степень разрушения;
 «—» — промышленные здания; «---» — жилые здания

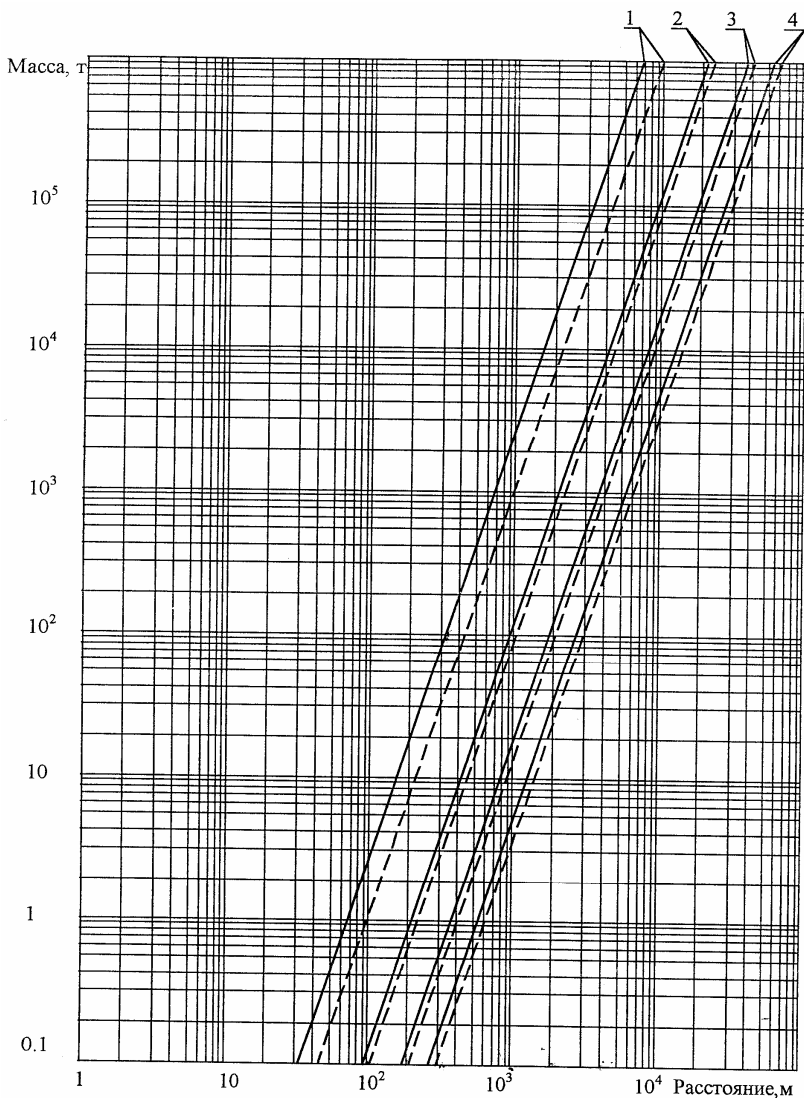


Рис. П.19. Зависимость степеней разрушения зданий от массы и расстояния 2-го класса КВВ;

1 — полная степень разрушения; 2 — сильная степень разрушения;
 3 — средняя степень разрушения; 4 — слабая степень разрушения;
 «——» — промышленные здания; «---» — жилые здания

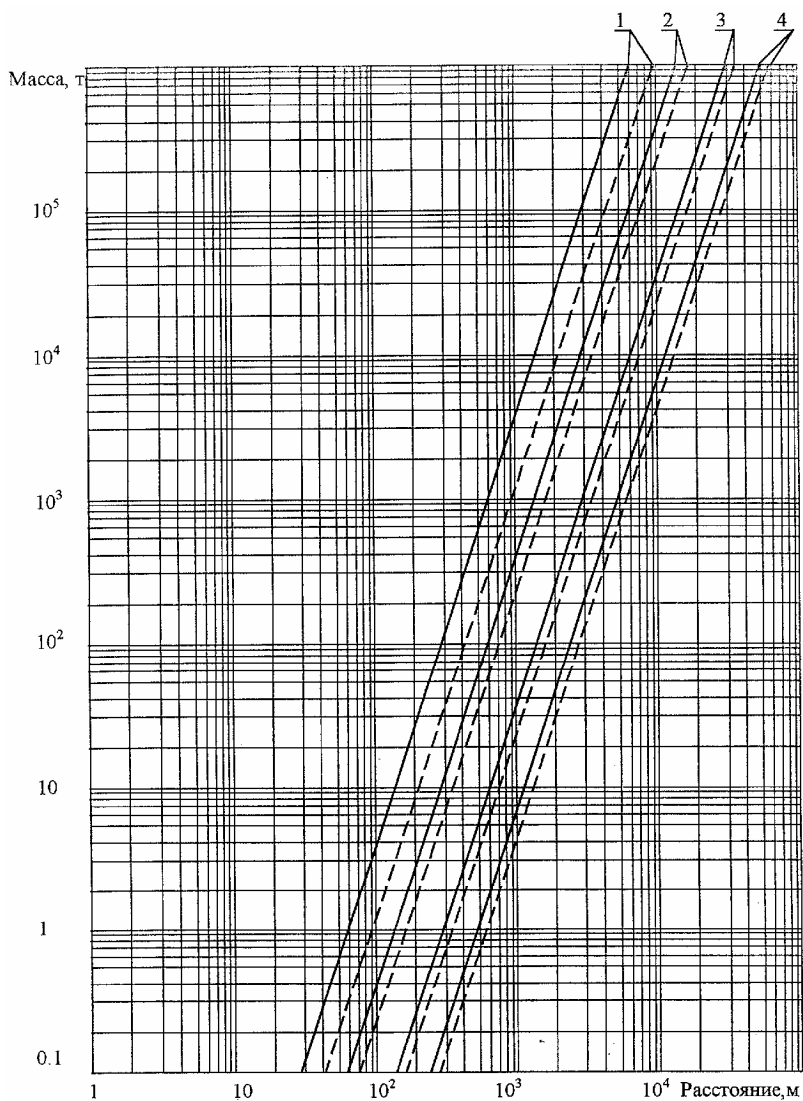


Рис. П.20. Зависимость степеней разрушения зданий от массы и расстояния 3-го класса КВВ;

1 — полная степень разрушения; 2 — сильная степень разрушения;
 3 — средняя степень разрушения; 4 — слабая степень разрушения;
 «——» — промышленные здания; «---» — жилые здания

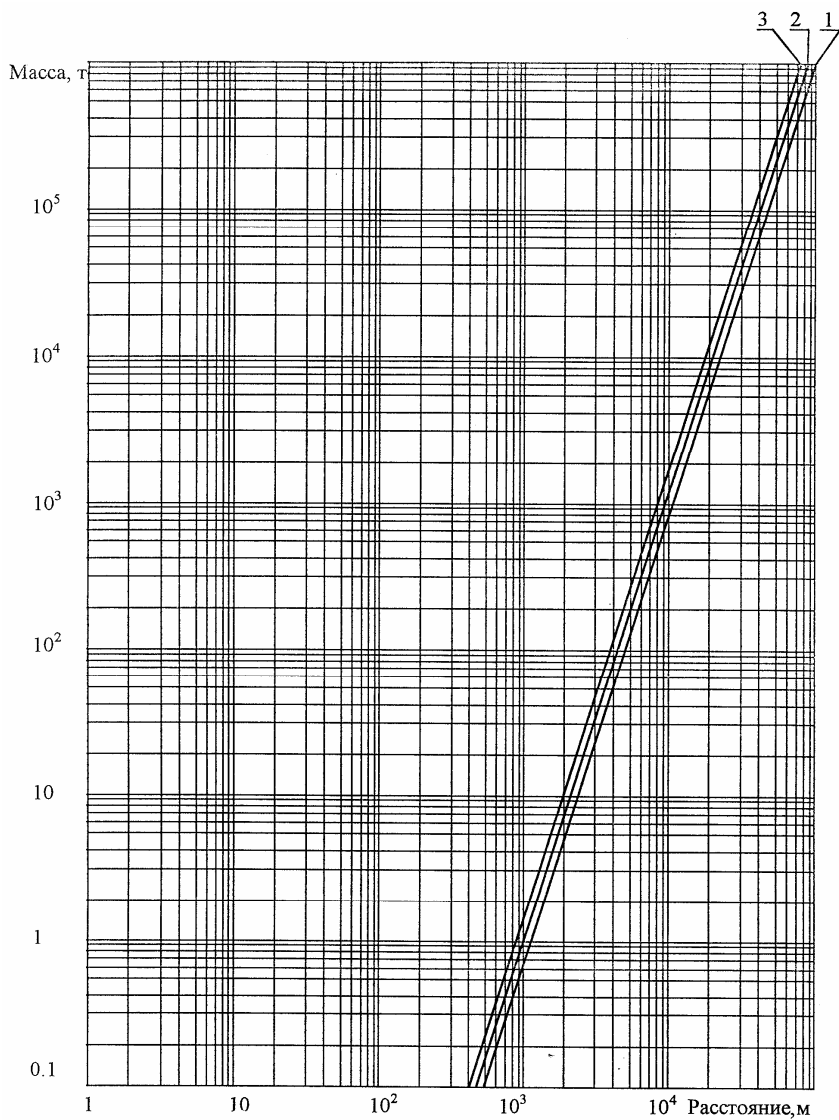


Рис. П.21. Размеры зон расстекления при взрывах КВВ разных классов

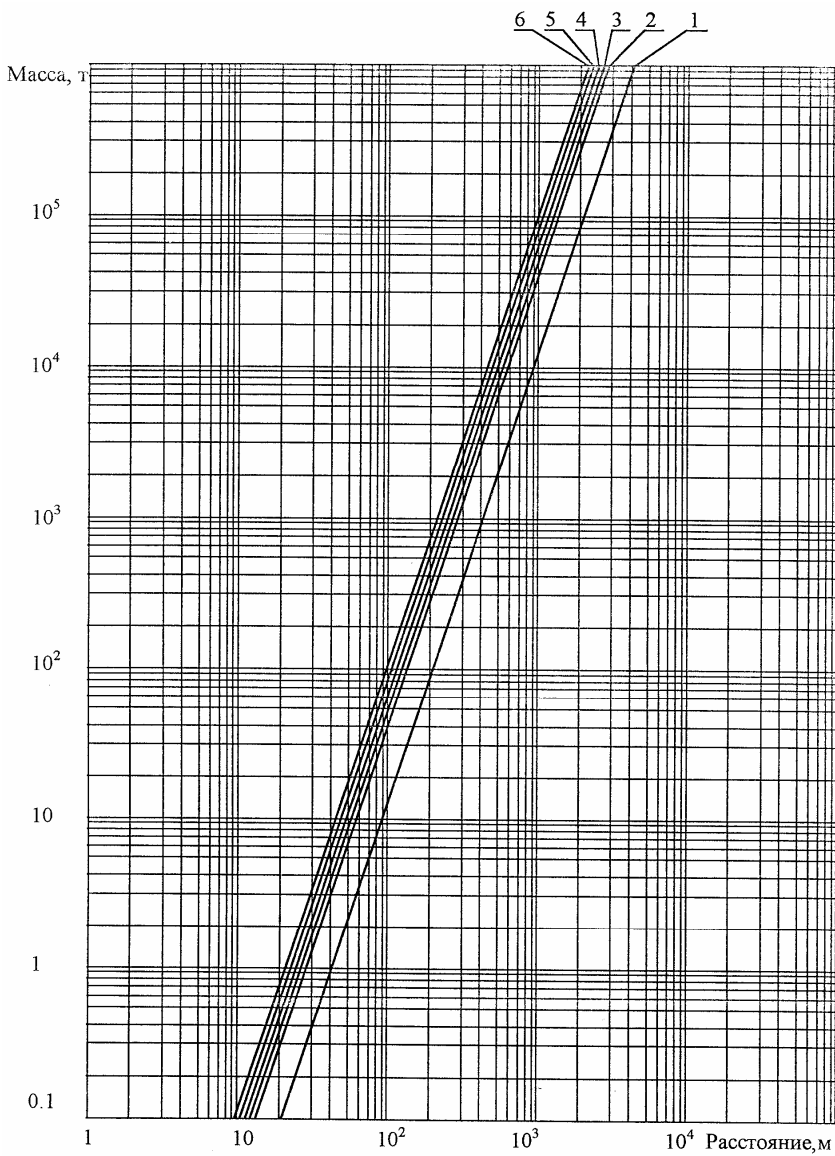


Рис. П.22. Границы зон поражения людей при взрывах КВВ 1-го класса;

1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

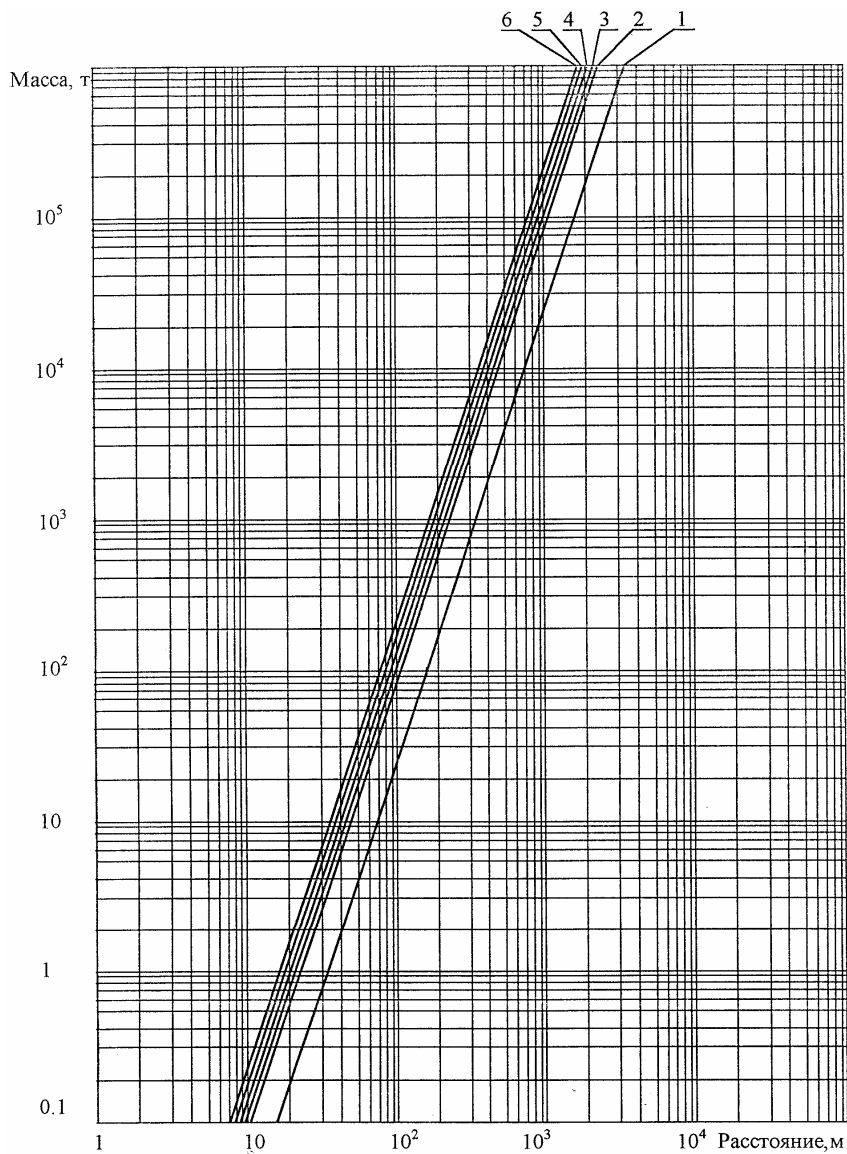


Рис. П.23. Границы зон поражения людей при взрывах КВВ 2-го класса;
 1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
 4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

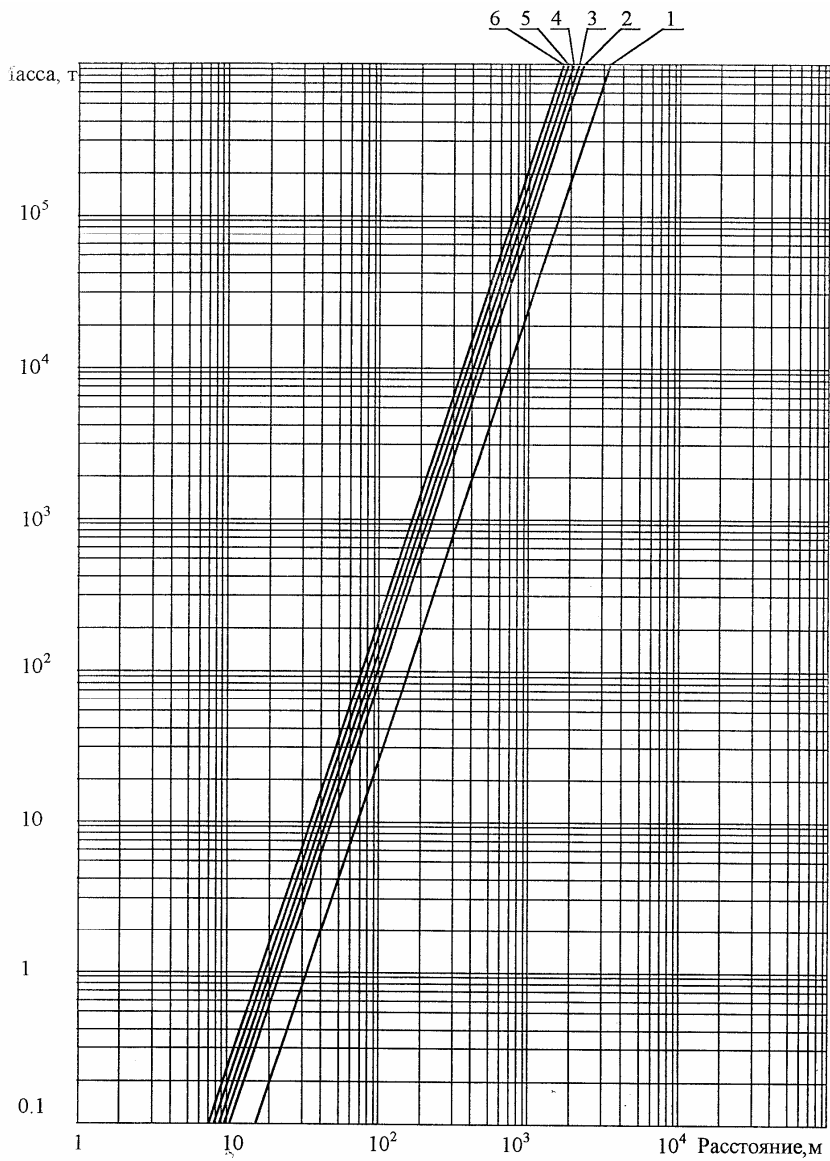


Рис. П.24. Границы зон поражения людей при взрывах КВВ 3-го класса;
 1 — порог поражения; 2 — 1% пораженных; 3 — 10% пораженных;
 4 — 50% пораженных; 5 — 90% пораженных; 6 — 99% пораженных

ЛИТЕРАТУРА

1. Буланенков С.А., Губченко П.П. и др. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях / Под ред. М.И. Фалеева. — Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. — 480 с.
2. Белов С.В., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф. и др. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Белова. 4-е изд., испр. и доп. — М.: Высшая школа, 2004. — 606 с.
3. Бодриков О.В., Елохин А.И. и др. Методика оценки последствий аварий на пожаровзрывоопасных объектах. — М., 1994.
4. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. — М.: Химия, 1991.
5. Журавлев В.П. и др. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Учебное пособие. — М.: Издательство АСВ, 1999.
6. Взрывоопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.010-76.
7. Смеси взрывоопасные. ГОСТ 12.1.011-78.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ГЛАВА 1. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ И ЗАЩИТА ОТ НИХ	4
1.1. АВАРИИ НА ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ	4
1.1.1. Общие сведения о взрыве	4
1.1.2. Воздушная ударная волна (ВУВ), её параметры	6
1.1.3. Взрывчатые вещества	9
1.1.4. Контрольные вопросы	12
1.2. Воздушная ударная волна ядерного взрыва	12
1.2.1. Воздействие ВУВ ядерного взрыва на сооружения, технику и людей	12
1.2.1.1. <i>Характер воздействия ударной волны на людей</i>	<i>12</i>
1.2.1.2. <i>Воздействие ВУВ ядерного взрыва на сооружения и технику</i>	<i>14</i>
1.2.2. Очаг ядерного поражения	16
1.2.3. Оценка обстановки, сложившейся в результате воздействия ударной волны ядерного взрыва	17
1.2.4. Контрольные вопросы	20
1.3. ЗАЩИТА ОТ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ЛЮДЕЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	20
1.3.1. Защитные сооружения, их классификация, защитные свойства	20
1.3.2. Принципы защиты производственных объектов от ВУВ	24
1.3.3. Контрольные вопросы	26
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ ПО ХРАНЕНИЮ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ	27
2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДИКЕ ПО ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ	27
2.1.1. Назначение методики	27
2.1.2. Основные определения и допущения	27
2.1.3. Исходные данные	29

2.2. Порядок оценки последствий аварии на ОЭ при ЧС со сжиженными углеводородными газами (СУГ)	29
2.2.1. Определение массы вещества в облаке ТВС	29
2.2.2. Определение величины дрейфа и режима взрывного превращения облака ТВС	30
2.2.3. Оценка последствий аварий	30
2.2.3.1. <i>Оценка воздействий взрывных превращений объектов ТВС на людей и сооружения</i>	30
2.2.3.2. <i>Оценка воздействия огневого шара (теплового потока) на людей и сооружения</i>	32
2.2.3.3. <i>Оценка воздействия осколков оборудования на людей и сооружения</i>	33
2.3. Порядок оценки последствий аварии на объектах по хранению, переработке и транспортировке сжатых углеводородных газов (СЖУГ)	33
2.4. Порядок оценки последствий аварии на объектах по хранению, переработке и транспортировке горючих жидкостей (ГЖ)	34
2.4.1. Определение объема вещества, разлившегося при аварии	34
2.4.2. Определение линейных размеров разлива ГЖ	34
2.4.3. Определение величины теплового потока при возгорании разлива ГЖ	35
2.4.4. Воздействие теплового потока на людей	35
2.4.5. Воздействие теплового потока на окружающую застройку, местность	35
2.5. Порядок оценки последствий аварии на объектах по хранению и переработке конденсированных взрывчатых веществ (КВВ)	36
2.5.1. Порядок определения степеней разрушения зданий и сооружений	36
2.5.2. Порядок определения поражения людей	36
2.6. Примеры выполнения оценки последствий аварии	36
ПРИЛОЖЕНИЕ	40
ЛИТЕРАТУРА	73

**Виктор Петрович Гаценко
Владимир Алексеевич Королёв**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ
ВЗРЫВНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ГРАЖДАНСКАЯ
ЗАЩИТА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ
МИРНОГО И ВОЕННОГО ВРЕМЕНИ**

Учебное пособие

Редактор *С.Н. Капранов*
Корректор *Т.В. Тимофеева*
Технический редактор *А.Л. Репкин*

Подписано в печать 08.07.2009.
Формат 60×84/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 4,75. У сл. п. л. 4,42. Тираж 50 экз. Заказ №149

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
107005, Москва, 2-я Бауманская 5

Изготовленов Редакционно-издательском отделе
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57–31–87