

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Управление военизированной охраны

Государственный институт технико-экономических изысканий
и проектирования железнодорожного транспорта
«Гипротранстэи»

Согласовано

Заместитель Министра Российской
Федерации по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и
ликвидации последствий стихийных
бедствий (МЧС России)

24 октября 1997 г.

М.И. Фалеев

Утверждаю

Заместитель Министра путей
сообщения России

20 ноября 1997 г.

Ю.М. Герасимов

РУКОВОДСТВО

**ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗОН ВОЗДЕЙСТВИЯ
ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ С СЖИЖЕННЫМИ ГАЗАМИ,
ГОРЮЧИМИ ЖИДКОСТЯМИ И АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ
ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА ОБЪЕКТАХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Москва, 1997

Руководство по определению зон воздействия опасных факторов аварий с сжиженными газами, горючими жидкостями и аварийно химически опасными веществами на объектах железнодорожного транспорта

Настоящее руководство разработано на основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в Гипротранстэи МПС России, ВНИИПО и МИПБ России, и является дополнением к существующим нормативным документам и правилам.

В разработке Руководства принимали участие П.Л. Девлишен (Гипротранстэи), В.П. Аксютин, Г.Г. Нестеренко (УВО МПС России), Г.М.Гроздов, И.Р. Хасанов, Е.А. Москвиллин (ВНИИПО России), В.С. Рыжиков (ВНИИ ГОЧС МЧС России).

Руководство введено в действие Указанием МПС России от 24.11.97 г. № Г-1362у.

Ответственный за выпуск П.П. Девлишев

Выпущено по заказу Министерства путей сообщения Российской Федерации.

(С) 1997

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	5
1. Область применения	6
2. Опасные факторы аварий	7
2.1. Общие положения	7
2.2. Воздействие пожара (взрыва) на человека	7
2.3. Воздействие пожара (взрыва) на здания и сооружения	8
2.4. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с сжиженными углеводородными газами (СУГ)	9
2.5. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с ЛВЖ и ГЖ	9
2.6. Опасные факторы при авариях с АХОВ	9
3. Методы расчета параметров опасных факторов аварий	10
3.1. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва при авариях с СУГ	10
3.2. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва при авариях с ЛВЖ	13
3.3. Расчет зон аварийного разлива СУГ и ЛВЖ	17
3.4. Расчет плотности теплового излучения от факела	18
3.5. Расчет плотности теплового излучения от огненного шара	18
3.6. Расчет зон химического заражения	19
4. Расчетные аварийные ситуации на типовых объектах железнодорожного транспорта	21
4.1. Типовые аварийные ситуации с СУГ	21
4.2. Типовые аварийные ситуации с ЛВЖ и ГЖ	22
4.3. Типовые аварийные ситуации с АХОВ	23
4.4. Типовые аварийные ситуации с горением ТГМ	23
4.5. Типовые сценарии развития аварий на объектах железнодорожного транспорта	24
5. Определение зон воздействия опасных факторов аварий	26
5.1. Общий алгоритм	26
5.2. Порядок расчета опасных зон при авариях	26
5.3. Зоны воздействия опасных факторов пожара (взрыва) при расчетных аварийных ситуациях	29
6. Порядок расчета пожарной обстановки при авариях с опасными грузами	33
6.1. Расчет пожарной обстановки при авариях с СУГ и ЛВЖ	33
6.2. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ в подвижном составе	35
6.3. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ на складах хранения грузов	35
6.4. Расчет количества вагонов, охваченных пожаром	36
7. Мероприятия по предупреждению и локализации воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал и население при аварийных ситуациях на объектах железнодорожного транспорта	37
7.1. Общие положения	37
7.2. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов	37

7.3. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население	41
7.4. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал объектов железнодорожного транспорта	41
7.5. Рекомендации при проектировании объектов железнодорожного транспорта	43
Приложение 1. Степени поражения человека при тепловом излучении	45
Приложение 2. Допустимое время пребывания людей в зонах теплового воздействия пожаров	48
Приложение 3. Степени разрушения зданий и сооружений	49
Приложение 4. Воздействие теплового излучения на сгораемые материалы	50
Приложение 5. Интенсивность теплового излучения на поверхности факела пожара	51
Приложение 6. Расчетные таблицы для оценок зон химического заражения	52
Приложение 7. Размеры зон загазованности при различных расходах газа и скорости ветра	57
Приложение 8. Границы зон поражения при взрывах облаков ТВС	60
Приложение 9. Плотность теплового потока пожаров в зависимости от расстояния	61
Приложение 10. Дальность переноса высокотемпературных частиц (искр)	68
Приложение 11. Основные параметры пожаров ТГМ	69
Приложение 12. Низшая теплота сгорания и плотность горючих материалов, обращающихся на объектах железнодорожного транспорта	71
Приложение 13. Основные физико-химические и пожаровзрыво-опасные характеристики СУГ	72
Приложение 14. Показатели пожарной опасности индивидуальных веществ (ЛВЖ, ГЖ)	73
Приложение 15. Показатели пожарной опасности смесей и технических продуктов (ЛВЖ, ГЖ)	75
Приложение 16. Примеры расчета опасных факторов при авариях	79
Литература	90

ВВЕДЕНИЕ

Значительное количество перевозимых опасных грузов и большая протяженность коммуникаций обуславливают возникновение аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте.

Если авария принимает крупные масштабы, то опасные факторы пожара (взрыва) и вредные токсичные вещества могут привести к массовому поражению производственного персонала и населения на прилегающей к объектам железнодорожного транспорта территории, а также к разрушению конструкций, зданий и сооружений.

Особо опасными являются аварии на объектах железнодорожного транспорта, которые сопровождаются пожарами (взрывами) цистерн с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями (ЛВЖ, ГЖ) и сжиженными углеводородными газами (СУГ), а также разливом (выбросом) горючих жидкостей и аварийно химически опасных веществ (АХОВ). Немалую опасность представляют также пожары твердых горючих материалов (ТГМ) в подвижном составе и на производственных объектах железнодорожного транспорта.

В связи с этим определение зон воздействия опасных факторов при аварийных ситуациях с опасными грузами на объектах железнодорожного транспорта имеет важное и актуальное значение.

В предлагаемом Руководстве определены опасные факторы аварий на объектах железнодорожного транспорта, рассмотрены методы расчета параметров опасных факторов пожара (взрыва) для химического заражения АХОВ, рассмотрены типовые аварийные ситуации с перечисленными выше опасными грузами, приведены расчетные методы определения зон воздействия опасных факторов аварий как для людей, так и для зданий и сооружений.

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Руководство предназначено для использования при проектировании железнодорожных станций, узлов и других объектов железнодорожного транспорта, а также для работников аварийно-восстановительных подразделений, пожарных и восстановительных поездов, представителей грузоотправителей (грузополучателей), сопровождающих опасные грузы, руководящего состава служб железных дорог и представителей служб других министерств и ведомств, принимающих участие в разработке планов и организации работ по ликвидации аварий (пожаров) на объектах железнодорожного транспорта.

1.2. Типовые аварийные ситуации и оценка зон воздействия опасных факторов аварий рассмотрены применительно к следующим основным объектам железнодорожного транспорта:

- станциям по наливу и сливу нефтепродуктов;
- сортировочным станциям;
- промывочно-пропарочным станциям;
- складам хранения опасных грузов;
- шпалопропиточным заводам.

1.3. Настоящее Руководство разработано на основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, выполненных Гипротранстэи МПС России, ВНИИПО и МИПБ МВД России, ВНИИ ГОЧС МЧС России.

При определении опасных факторов аварий, методов их расчета и разработке типовых аварийных ситуаций использовались также методики /1 – 6/, нормативные документы и рекомендации /7 – 27, 45/, справочные пособия /28, 29, 44/ научно-техническая литература /3 – 43/.

2. ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ АВАРИЙ

2.1. Общие положения

2.1.1. При крупных авариях с опасными грузами на объектах железнодорожного транспорта опасные факторы аварий могут приводить к поражению людей, а также зданий и сооружений населенных пунктов и промышленных объектов, расположенных на прилегающей территории.

2.1.2. В настоящем Руководстве рассмотрены следующие опасные факторы аварий с опасными грузами:

- образование взрывоопасных зон загазованности;
- воздушная ударная волна взрывов облаков топливно-воздушных смесей (ТВС);
- тепловое излучение при горении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных углеводородных газов, аварийно химически опасных веществ, твердых горючих веществ;
- токсичные выбросы.

2.2. Воздействие пожара (взрыва) на человека

2.2.1. Под критериями поражения человека понимаются количественные оценки (числовые значения характеристик) полей поражающих факторов, соответствующие определенным биологическим эффектам (смерть, механические травмы, ожоги и т.д.).

2.2.2. Зоной теплового воздействия называется часть пространства, примыкающая к зоне горения, в котором тепловое воздействие приводит к заметному изменению состояния материалов и конструкций и делает невозможным пребывание в нем людей без специальной тепловой защиты.

Под критической плотностью теплового излучения $q_{кр}$ (кВт/м²) понимают такую величину теплового излучения, при которой теряет свои рабочие качества конструкционный материал либо возможны самовоспламенение горючих веществ или ожоги незащищенной кожи человека.

Ближней границей зоны теплового воздействия является зона горения. За дальнюю границу теплового воздействия обычно принимают такое расстояние, где интенсивность теплового потока равна 3,5 кВт/м².

2.2.3. Степень повреждения кожи при воздействии источника теплового поражения определяется интенсивностью источника. Обычно различают 4 степени ожогов кожи. I степень характеризуется гиперемией, II – образованием пузырей, IIIА – поражение дермы, IIIБ – некрозом всех слоев кожи. IV степень характеризуется поражением не только кожи, но и глубоких тканей.

Вероятность гибели человека при тепловом поражении зависит от степени ожогов и размеров обожженной площади, возраста и др. Данные по степени термических поражений и по исходу пострадавших представлены в табл. П.1.1 и п.1.2 (Приложение 1).

Требуемая защита и допустимое время пребывания людей в зонах теплового воздействия пожаров представлены в Приложении 2.

2.2.4. Воздействие теплового излучения огненных шаров, возникающих при выбросах горючих газов и жидкостей, помимо ожогов кожи может приводить также к поражению сетчатки глаз и, как следствие, к слепоте.

Степень поражения тепловым излучением огненных шаров и горящих проливов определяется величиной теплового потока q (кВт/м²), воздействующего на объект, а также временем облучения $t_{об}$ (с), т.е. дозой излучения $D_t = q \cdot t_{об}$ (кДж/м²).

При быстро меняющемся тепловом потоке (в случае теплового излучения от поднимающегося огненного шара) ожоги III степени вызывает доза излучения величиной порядка $D_t = 160 \text{ кДж/м}^2$. В качестве внешней границы смертельного поражения людей при воздействии огненного шара принимается величина дозы равная 375 кДж/м^2 .

Оценка воздействия теплового излучения в зависимости от времени на защищенные участки кожи человека показана на рис. П.1.1 в Приложении 1.

Данные о вероятности смертельного поражения в зависимости от полученного индекса дозы излучения $I = q^{1.33} \cdot t_{об}$, где q в $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, а также процент пораженных при воздействии теплового излучения огненных шаров представлены в табл. П.1.3 и рис. П.1.2 (Приложение 1).

2.2.5. Прямое (первичное) поражающее действие воздушных ударных волн связано с изменением давления в окружающей среде в результате прихода взрывной волны. Степень поражения человека определяется при этом целым рядом факторов: величиной избыточного давления в падающей и отраженной волнах, длительностью взрывной волны, величиной внешнего атмосферного давления, массой и возрастом человека, его ориентацией в пространстве при подходе волны и др.

Поражающее действие воздушной ударной волны характеризуется избыточным давлением во фронте волны ΔP , кПа.

Данные о поражающем действии избыточного давления взрывов на человека приведены в табл. П.3.2 (Приложение 3). Порог поражения человека $\Delta P = 3 \text{ кПа}$.

2.2.6. При пожаре (взрыве) возможно проникновение (выброс) АХОВ в окружающую среду. Поражающее действие токсичных выбросов характеризуется концентрацией C (мг/л , кг/м^3), ингаляционной токсодозой LD_x и временем экспозиции.

2.3. Воздействие пожара (взрыва) на здания и сооружения

2.3.1. Основными поражающими факторами для зданий и сооружений при авариях на железнодорожном транспорте являются:

- воздушная ударная волна взрывов горючих газов и паров ЛВЖ;
- тепловое излучение огненных шаров и горящих проливов ЛВЖ и СУГ;
- непосредственное воздействие огня.

2.3.2. В качестве показателей последствий воздействия воздушной ударной волны взрыва на окружающую место аварии застройку принимаются степени разрушения зданий и сооружений промышленной и селитебной зоны.

Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений приведена в табл. П.3.1 Приложения 3.

2.3.3. Ближней границей зоны теплового воздействия является зона горения, за дальнюю границу принимают такое удаление, где превышение критического значения теплового излучения $q_{кр}$ может вызвать воспламенение горючих материалов (здания, сооружения, конструкции и т.п.).

Воздействие тепловых потоков на здания и сооружения оцениваются возможностью воспламенения горючих материалов.

2.3.4. Данные о критическом значении интенсивности облучения для твердых материалов, превышение которой может вызвать воспламенение смежных зданий или сооружений, в зависимости от продолжительности облучения приведены в Приложении 4.

2.4. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с сжиженными углеводородными газами (СУГ)

2.4.1. Пожары при авариях с СУГ характеризуются большой концентрацией СУГ на малых площадях, значительными площадями горения до 5000 м², высокой скоростью распространения пламени до 5-10 м/с, опасностью образования взрывоопасных зон, возможностью возникновения взрывов, деформацией и разрушением цистерн, разлетом обломков на расстояние до 100-300 м, длительностью пожаров (истечений СУГ) – до 3 – 5 суток.

2.4.2. Сжиженный газ может истекать в паровой, жидкой и парожидкостной фазах. Характер истечения газа определяется по пламени:

газ в паровой фазе сгорает светло-желтым пламенем и сопровождается сильным свистящим шумом;

газ в жидкой фазе сгорает ярко-оранжевым пламенем с выделением сажи;

газ в парожидкостной фазе сгорает с периодически меняющейся высотой пламени.

Высота пламени при горении разливающегося сжиженного газа в 2-2,5 раза больше среднего диаметра площади горения.

При аварии продукт истекает в виде осесимметричных струй (чаще всего из круглых отверстий) и в виде веерных струй (главным образом, из щелевых отверстий).

2.4.3. По характеру горения пожары можно разделить на следующие виды:

факельное горение жидкостей и газов на запорной арматуре цистерн;

сложные пожары, сочетающие как факельное горение в результате разгерметизации стенок цистерны, так и горение разлитого СУГ;

пожары, сопровождающиеся взрывами ТВС в цистернах и вне их.

2.5. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с ЛВЖ и ГЖ

При авариях с ЛВЖ и ГЖ можно встретиться с пожарами следующих типов:

факельное горение жидкостей, выходящих из пробоев и разрывов;

горение жидкостей в цистерне при ее вскрытии;

растекание горячей жидкости по прилегающей территории;

одновременное горение жидкостей при пожарах всех вышеуказанных типов, сопровождающееся иногда взрывами паровоздушных смесей и цистерн.

2.6. Опасные факторы при авариях с АХОВ

Основным поражающим фактором аварий с выбросом АХОВ является химическое заражение.

Зона заражения АХОВ – территория, зараженная АХОВ в опасных для жизни людей пределах. Размер зоны химического заражения характеризуется глубиной и площадью.

В качестве критерия поражения человека токсичными продуктами используется величина токсодозы LD, которая является произведением концентрации на время экспозиции.

Средняя смертельная токсодоза (LCT_x) – ингаляционная токсодоза, вызывающая смертельный исход у X% пораженных.

3. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ

3.1. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях с СУГ

3.1.1. Взрывоопасная зона, образуемая при выбросе горючих газов представляет собой территорию с радиусом $X_{\text{нкпр}}$, ограничивающим область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР).

Зону взрывоопасных концентраций определяют для наиболее опасного варианта – в неподвижной среде. При испарении СУГ за расчетную температуру принимается максимально возможная температура воздуха в соответствующей климатической зоне согласно СНиП 2. 01. 01-82 «Строительная климатология и геофизика».

3.1.2. Расчет размеров взрывоопасных зон при разливе (утечке) СУГ.

Расчет взрывоопасных зон при неподвижной воздушной среде на открытом пространстве проводится по формуле /4/:

$$X_{\text{нкпр}} = 14,6 \cdot (M_p / \rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{скпр}})^{0,33} \quad (3.1)$$

где $X_{\text{нкпр}}$ – расстояние по горизонтали от источника, ограниченное НКПР, м;

M_p – масса газа, поступившего в окружающее пространство (масса газа в облаке ТВС), кг;

$C_{\text{скпр}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об);

$\rho_{\text{п}}$ – плотность паров СУГ, кг/м³:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M_m}{V_0 \cdot (1 + 0,0367 \cdot t_p)}; \quad (3.2)$$

где M_m – молекулярная масса вещества, кг/кмоль;

t_p – расчетная температура °С (принимается максимальной для данной климатической зоны);

V_0 – мольный объем, равный 22.413 м³, кмоль⁻¹.

За начало отсчета размера взрывоопасной зоны принимают внешние габаритные размеры цистерн, резервуаров, трубопроводов и т.п.

Для проведения оперативных расчетов радиус взрывоопасной зоны допускается определять по упрощенной формуле, в которой расчетная температура воздуха принимается равной 28° С /40/:

$$X_{\text{нкпр}} = 92 \cdot M_p^{1/3}; \quad (3.3)$$

3.1.3. Определение массы газа на облаке ТВС при проливах и утечках СУГ.

При мгновенной разгерметизации резервуара (пролив всего количества СУГ) масса вещества (M_p) в облаке определяется по формуле из Руководства /2/ в зависимости от типа СУГ /42/ (см. Приложение 13).

для низкокипящих СУГ (при $t_{\text{кип}} < -0,5^{\circ}\text{C}$)

$$M_p = 0,62 \cdot M \quad (3.4)$$

для высококипящих СУГ ((при $t_{\text{кип}} > -0,5^{\circ}\text{C}$)

$$M_p = 0,34 \cdot M \quad (3.5)$$

где M – масса СУГ в цистерне (резервуаре), т.

Данные по параметрам p_n , M_M и $X_{нкпр}$ приведены в Приложении 13 при $t_p = 28^0$ С и емкости цистерны 54 м^3 .

При длительном истечении СУГ из цистерны (резервуара) в случае нахождения отверстия ниже уровня жидкости масса вещества (газа) в облаке (M_p) определяется по следующей формуле /3/:

$$M_p = 36 \cdot \rho \cdot S_0 \cdot [2 \cdot (P - P_a) / (\rho + 1,2 \cdot g \cdot H)]^{1/2} \quad (3.6)$$

где ρ – плотность жидкой фазы СУГ, кг/м^3 ;

S_0 – площадь сечения отверстия, м^2 ;

P – давление в цистерне, Па;

P_a – атмосферное давление. Па (нормальное атмосферное давление составляет $1.01 \cdot 10^5$ Па);

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ с/с}^2$;

H – высота столба жидкой фазы (диаметр котла цистерны), м.

При отсутствии данных о характеристиках цистерны и условий истечения СУГ массу газа в облаке ТВС (M_p) можно определять по формуле /3/:

$$M_p = 0,1 \cdot M, \quad (3.7)$$

где M – масса топлива, содержащегося в цистерне (резервуаре), т.

3.1.4. Расчет зон избыточного давления взрыва ТВС при авариях с СУГ.

Расчет избыточного давления взрыва во фронте ударной волны при сгорании ТВС в открытом загроможденном пространстве проводится в соответствии с методикой /2/.

Зависимость избыточного давления ΔP (кПА) от относительной величины расстояния X_p определяется по рис. 3.1.

Относительная величина расстояния вычисляется по следующей формуле:

$$X_p = R_1 / (0,42 \cdot M_p)^{1/3}, \quad (3.8)$$

где R_1 – расстояние от места взрыва, м;

M_p – масса газа в облаке, т.

Для заданного расстояния R_1 по формуле (3.8) и рис. 3.1 определяется величина избыточного давления ΔP (кПА).

Примеры определения величины избыточного давления приведены в Приложении 16 (п.16.1).

Для расчета границ зон поражения людей (табл. П.3.2 Приложения 3) при взрыве облаков ТВС используются следующие формулы:

граница зоны тяжелых поражений

$$R_1 = 32 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

граница зоны порога поражения

$$R_2 = 360 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м}.$$

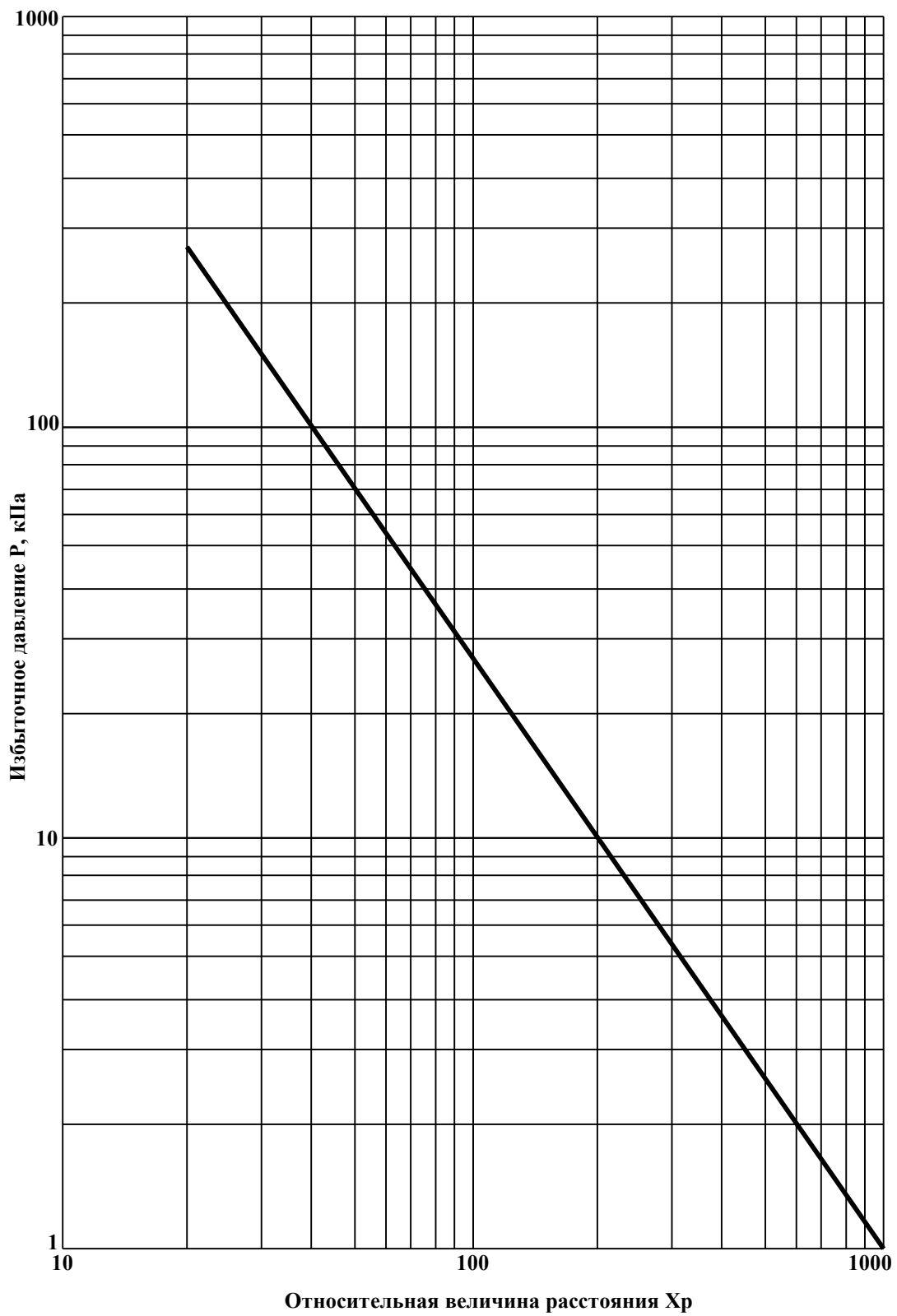


Рис. 3.1. Зависимость избыточного давления взрыва ТВС от относительной величины расстояния

Для расчета границ зон повреждения зданий и сооружений (табл. ПЗ.1 Приложение 3) при взрыве облаков ТВС используются следующие формулы:

граница зоны полных разрушений

$$R_1 = 32 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

граница зоны сильных разрушений

$$R_2 = 45 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

граница зоны средних разрушений

$$R_3 = 64 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

граница зоны умеренных разрушений

$$R_4 = 120 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

граница зоны малых разрушений

$$R_5 = 360 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м}.$$

3.2. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях с ЛВЖ

3.2.1. Расчет размеров взрывоопасных зон при разгерметизации цистерны и проливе ЛВЖ.

Для расчета радиуса зоны используется формула /4/:

$$X_{\text{нкпр}} = 3,2 \cdot K^{1/2} \cdot [P_n / C_{\text{нкпр}}]^{0,8} \cdot [M_p / (\rho_n \cdot P_n)]^{0,33}, \text{ м} \quad (3.9)$$

где K – коэффициент, принимаемый равным $T/14400$;

T – расчетная продолжительность поступления паров ЛВЖ в окружающее пространство (принимается равной времени полного испарения жидкости, но не более 14400 с по формуле (3.11));

P_n – давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа;

$C_{\text{нкпр}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об);

M_p – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 14400 с, кг;

ρ_n – плотность паров ЛВЖ, кг/м^3 .

3.2.2. Определение массы вещества в облаке ТВС при испарении ЛВЖ, а также параметров, входящих в формулу (3.9).

Масса испарившейся жидкости определяется по формуле:

$$M_p = I_p \cdot T \cdot S_p, \text{ кг} \quad (3.10)$$

где I_p – интенсивность испарения, (кг/см^2) ;

S_p – площадь разлива, м^2 (определяется по формулам, приведенным в разделе 3.3 Руководства).

Расчетная продолжительность поступления паров ЛВЖ в окружающее пространство определяется по формуле:

$$T = M / (I_p \cdot S_p) < 14400 \text{ с} \quad (3.11)$$

Интенсивность испарения определяется по формуле:

$$I_p = 10^{-6} \cdot \eta \cdot M_m^{0,5} \cdot P_n \quad (3.12)$$

где η – коэффициент, принимаемый по табл. 3.1;

M_m – молекулярная масса, кг/кмоль ;

P_n – давление насыщенных паров, кПа.

$$P_n = 0,133 \cdot 10^{[A - (B/(C_A + t_p))]}, \text{ кПа} \quad (3.13)$$

где $A, B, /C_A$ – константы уравнения Антуана, определяемые по Приложениям 14,15;

t_p – расчетная температура воздуха $^{\circ}\text{C}$.

Таблица 3.1

Скорость воздушного потока, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Значение коэффициента η при температуре t_v воздуха ($^{\circ}\text{C}$)				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Плотность паров ЛВЖ определяется по формуле:

$$\rho_n = \frac{M_m}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} \quad (3.14)$$

где V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3 \text{ кмоль}^{-1}$.

Взрывоопасные концентрации паровоздушных смесей ЛВЖ над поверхностью пролитой жидкости образуются в том случае, когда расчетная температура воздуха меньше температуры вспышки паров ЛВЖ, значение которой приведено в Приложениях 14 и 15.

Расчет размеров взрывоопасных зон при разливе ЛВЖ проводится по формуле (3.9).

За начало отсчета взрывоопасной зоны принимаются внешние габаритные размеры цистерн, резервуаров, трубопроводов и т.п.

3.2.3. Определение радиусов зон избыточного давления при взрыве ТВС, образующейся при испарении ЛВЖ, проводится по следующим формулам /5/:

$$R_1 = K_1 \cdot (0,45 \cdot M_p)^{1/3} / [1 + (7066 / M_p)^2]^{1/6}, \text{ при } M_p < 5 \text{ т.} \quad (3.15)$$

$$R_1 = K_1 \cdot (0,45 \cdot M_p)^{1/3}, \text{ при } M_p > 5 \text{ т.} \quad (3.16)$$

где R_1 – радиус 1-го класса опасной зоны с заданным избыточным давлением на границе зоны, м (табл. П.3.1 в Приложении 3);

K_1 – коэффициент взаимосвязи величины избыточного давления с радиусом опасной зоны (табл. П.3.1 в Приложении 3);

M_p – масса паров, испарившаяся с поверхности разлива ЛВЖ, кг.

Величину избыточного давления ΔP (кПа) при взрыве ТВС, образующихся при авариях цистерн с ЛВЖ определяется по формуле /4/:

$$\Delta P = P_a \cdot (0,8 \cdot M_{np}^{0,33} / r + 3 \cdot M_{np}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot M_{np} / r^3) \quad (3.17)$$

где P_a – атмосферное давление, кПа (101 кПа);

r – расстояние от геометрического центра облака ТВС, м;

M_{np} – приведенная масса паров ЛВЖ, кг:

$$M_{\text{пр}} = (Q_{\text{ст}}/Q_0) \cdot M_p \cdot K_z, \quad (3.18)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – удельная теплота сгорания, кДж/кг (определяется по Приложениям 14 и 15);

Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^3$ кДж/кг;

M_p – масса паров ЛВЖ в окружающем пространстве, кг;

K_z – коэффициент участия горючего во взрыве, который допускается принимать равным 0,1.

3.2.4. Масса всего вещества пролитой ЛВЖ равна полному объему цистерны с учетом степени заполнения и определяется по формуле:

$$M = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{ж}} \cdot e, \text{ кг} \quad (3.19)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность ЛВЖ, кг · м⁻³ (определяется по Приложению 12);

$V_{\text{ж}}$ – полная емкость цистерны, м³;

e – степень заполнения цистерны (принимается равной 0,85).

3.2.5. При разгерметизации запорной арматуры или образовании пробоев в нижней части цистерны масса пролитой ЛВЖ зависит от расхода жидкости через сливной прибор или образовавшуюся пробойну и времени ее истечения.

Расход ЛВЖ определяется по формуле:

$$G = 60 \cdot v_{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot S_0, \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1} \quad (3.20)$$

где S_0 – площадь сечения универсального сливного прибора или пробойны, м²;

$v_{\text{ср}}$ – средняя скорость истечения ЛВЖ, м · с⁻¹:

$$v_{\text{ср}} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (3.21)$$

где μ – коэффициент расхода жидкости, учитывающей сужение струи и трение (принимается равным 0,3 для ЛВЖ);

g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$;

H – высота столба жидкости в цистерне (диаметр цистерны), м.

Полное время истечения ЛВЖ из цистерны согласно формулам (3.19) и (3.20) равно:

$$\tau = M/G, \text{ мин.}$$

3.2.6. Диаметр и площадь сечения сливного устройства равны 200 мм и 314 см² соответственно. При частичной разгерметизации устройства они могут принимать меньшие значения.

Диаметры и площади сечений пробоев, образующихся при авариях, приведены в табл. П.7.7 и принимаются за расчетные, но они могут быть и других размеров в зависимости от сложившейся аварийной ситуации.

3.2.7. Расход ЛВЖ и время истечения из цистерны с полным объемом 61,2; 85,6; 140; 161,6 м³ (см. справочное пособие /44/) в зависимости от площади пробоев и сливного устройства приведены в таблице П.7.7 (Приложение 7).

Используя данные этой таблицы можно определить массу разлившейся ЛАЖ, площадь разлива, массу испарившейся жидкости и радиус взрывоопасной зоны в любой момент времени от начала аварии по формулам:

$$M(\tau) = G \cdot \tau \quad (a)$$

где $G = 60 \cdot v_{cp} \cdot \rho_{ж} \cdot S_0$ (определяется по формулам 3.19 и 3.20)

$$S_p(\tau) = \left[\frac{f \cdot G}{\rho_{ж}} \right] \cdot \tau \quad (b)$$

$$M_p(\tau) = \left[\frac{I_p \cdot T \cdot f \cdot G}{\rho_{ж}} \right] \cdot \tau \quad (c)$$

$$X_{нкпр}(\tau) = \left[\frac{3,2 \cdot K \cdot (P_n / C_{нкпр})^{0,8}}{(\rho_{ж} \cdot P_n)^{0,33}} \right] \cdot \left[\frac{I_p \cdot T \cdot f \cdot G}{\rho_{ж}} \right]^{0,33} \cdot \tau^{0,33} \quad (d)$$

Приведенные формулы после перевода постоянных величин в их численные значения можно представить в упрощенном виде для расчета указанных параметров в зависимости от времени от начала аварии и до полного истечения нефтепродуктов из цистерн различной емкости и площади сечения пробоин и универсального сливного прибора.

K постоянным величинам, входящим в приведенные выше формулы (b), (c), (d), относятся $\rho_{ж}$, f , T и K .

Для каждого из видов нефтепродуктов значения величин P_n , $C_{нкпр}$, $\rho_{ж}$ и I_p различны и определяются по справочным данным или расчетом.

Ниже приводятся значения постоянных величин для всех видов нефтепродуктов:

$$P_{ж} = 800 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$f = 5 \text{ м}^{-1};$$

$$T = 14400 \text{ с, при условии } T > 14400;$$

$$K = T/14400 = 1.$$

С учетом приведенных постоянных величин формулы (b), (c) и (d) преобразуются к виду при $\tau < \tau_{ист}$:

$$S_p(\tau) = (0,00625 \cdot G) \cdot \tau \quad (b^1)$$

$$M_p(\tau) = (90 \cdot I_p \cdot G) \cdot \tau \quad (c^1)$$

$$X_{нкпр} = 14,13 \cdot [(P_n / C_{нкпр})^{0,8} \cdot (I_p \cdot G / \rho_{ж} \cdot P_n)^{0,33}] \cdot \tau^{0,33} \quad (d^1)$$

3.2.8. Примеры расчетов по приведенным выше формулам изложены в Приложении 16 настоящего Руководства. Расход истекающей жидкости в табл. П.7.5 рассчитан при постоянной средней плотности для нефтепродуктов $\rho_{ж}$, равной $800 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Погрешность в расчетах составляет не более 10% по отношению к истинным значениям плотности различных нефтепродуктов.

3.2.9. При частичной и полной разгерметизации сливного устройства происходит истечение, как правило, негорящих нефтепродуктов. При этом образуется зона

взрывоопасной концентрации ТВС и при наличии источника зажигания возможен взрыв смеси паров ЛВЖ с воздухом в пределах указанной зоны.

3.2.10. При опрокидывании и соударении цистерн в момент аварий из образовавшихся пробоин происходит истечение воспламенившихся нефтепродуктов с распространением пламени по поверхности пролитой жидкости. При этом взрывоопасная зона ТВС не формируется.

3.3. Расчет зон аварийного разлива СУГ и ЛВЖ

3.3.1. При разрушении цистерны объем вытекающей жидкости принимается равным 85% от общего объема цистерны.

При разрушении трубопровода объем жидкости определяется по формуле:

$$V_{ж} = 0,79 \cdot D_{\tau}^2 \cdot L_{\tau}, \text{ м}^3 \quad (3.22)$$

где D_{τ} – диаметр трубопровода, м;

L_{τ} – длина отрезка между соседними отсекающими трубопровода, м.

3.3.2. Линейный размер разлива зависит от объема вытекающей жидкости и условий растекания. При свободном растекании диаметр разлива может быть определен из соотношения:

$$d_p = (25,5 \cdot V_{ж})^{1/2},$$

где d_p – диаметр площади разлива, м;

$V_{ж}$ – объем пролитой жидкости, м^3 .

3.3.3. При отсутствии данных площадь разлива нефтепродуктов S_p (м^2) можно приблизительно оценить по следующей формуле:

$$S_p = K_p \cdot M_0, \quad (3.23)$$

где M_0 – масса пролитого продукта, т;

K_p – коэффициент разлива, равный $8 \text{ м}^2/\text{т}$.

3.3.4. Для более точной оценки площади разлива при полном разрушении цистерны можно воспользоваться следующей формулой:

$$S_p = f \cdot e \cdot V_{ж}, \text{ м}^2 \quad (3.24)$$

где f – коэффициент разлива, м^{-1} ;

e – степень заполнения цистерны (допускается до 0,85);

$V_{ж}$ – вместимость цистерны, м^3 .

Коэффициент разлива определяют исходя из расположения цистерны или резервуара на местности:

$f = 5$ при расположении в низине или на ровной поверхности с уклоном до 1%;

$f = 12$ при расположении на возвышенности;

3.3.5. В зависимости от расположения цистерны на местности принимаются различные приведенные формы разлива нефтепродуктов.

При расположении в низине или на ровной поверхности форма разлива – круг радиусом:

$$R_p = (S_p/\pi)^{1/2}, \text{ м.}$$

При расположении резервуара на возвышенности форма разлива – эллипс. Значения осей эллипса определяют по следующим формулам:

большой полуоси – $b = (K_{ук} \cdot S_p/\pi)^{1/2}$, м;

малой полуоси – $a = 4 \cdot S_p/(\pi + b)$, м

где $K_{ук}$ – коэффициент, характеризующий уклон местности.

При уклоне от 1 до 3% $K_{ук} = 8$, более 3% $K_{ук} = 16$.

3.4. Расчет плотности теплового излучения от факела

3.4.1. Излучающую поверхность пламени можно рассматривать в виде цилиндра с эквивалентным диаметром факела d_n , определяемым по формуле:

$$d_n = (4 \cdot S_p/\pi)^{0,5}, \text{ м} \quad (3.25)$$

Теплопередача от факела пожара к окружающим объектам осуществляется за счет теплового излучения.

3.4.2. Величина плотности теплового излучения q (кВт/м²) на заданном расстоянии (r) от пожара вычисляется по формуле:

$$q = E \cdot \varphi \quad (3.26)$$

где E – средне поверхностная плотность теплового излучения факела пламени кВт/м², значения которой приведены в Приложении 5;

φ – коэффициент облученности между факелом пламени и элементарной площадкой на поверхности облучаемого объекта.

3.4.3. Коэффициент φ является геометрической характеристикой, зависящей от размеров факела и его взаимного расположения с облучаемой поверхностью /31/.

3.4.4. Для приближенных оценок можно использовать следующую формулу для расчета коэффициента φ /2/:

$$\varphi = \frac{r_n^2 \cdot r}{(r_n^2 + r^2)^{1,5}} \cdot [1 - 0,0581 \ln(r)] \quad (3.27)$$

где r_n – радиус факела пламени, определяемый по формуле (3.25), м;

r – расстояние по горизонтали от очага пожара, м.

3.5. Расчет плотности теплового излучения от огненного шара

3.5.1. Масса СУГ в огненном шаре определяется по формуле /3/:

$$M_{ом} = 0,6 \cdot M, \text{ т} \quad (3.28)$$

где M – масса СУГ в цистерне, т.

Если $M_{ом} < 1$ т, то огненный шар не образуется.

3.5.2. Радиус огненного шара R определяется по формуле:

$$R_{ом} = 29 \cdot M_{ом}^{1/3}, \text{ м} \quad (3.29)$$

Время его существования $t_{ом}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{ом}} = 4,5 \cdot M_{\text{ом}}^{1/3}, \text{ с} \quad (3.30)$$

3.5.3. Величина плотности теплового излучения q (кВт/м²) на заданном расстоянии (r) от огненного шара вычисляется по формуле (3.26).

Средне поверхностная плотность теплового излучения огненного шара принимается равной 200 кВт/м². Коэффициент ϕ определяется по формуле (3.27) при $r_n = R_{\text{ом}}$.

3.5.4. Вероятность поражения людей тепловым потоком зависит от индекса дозы теплового излучения (I), который определяется из соотношения:

$$I = t_{\text{ом}} \cdot (1000 \cdot q)^{4/3} \quad (3.31)$$

Доля пораженных тепловым излучением определяется по табл. П.1.3 и рис. П.1.2 (Приложение 1).

3.6. Расчет зон химического заражения

3.6.1. Расчет глубины зоны заражения АХОВ в соответствии с методикой /6/, в которой параметры заражения определяются в зависимости от количественных характеристик выброса и скорости ветра.

3.6.2. Определение эквивалентного количества продукта по первичному облаку производится по следующей формуле:

$$Q_{\text{э1}} = K1 \cdot K3 \cdot K5 \cdot K7 \cdot Q_0, \text{ т} \quad (3.32)$$

где $K1$ – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (Приложение 6, табл. П.6.3) для сжатых газов $K1 = 1$;

$K3$ – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого АХОВ (Приложение 6, табл. П.6.3);

$K5$ – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха. Принимается равным для инверсии – 1, для изотермии – 0,23, для конвекции – 0,08;

$K7$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (для сжатых газов $K7 = 1$);

Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

3.6.3. Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку (агрегатное состояние АХОВ сжиженный газ или жидкость) производится по следующей формуле:

$$Q_{\text{э2}} = (1 - K1) \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5 \cdot K6 \cdot K7 \cdot Q_0 / (h \cdot \rho), \text{ т} \quad (3.33)$$

где $K2$ – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (Приложение 6, табл. П.6.3);

$K4$ – коэффициент, учитывающий скорость ветра (Приложение 6, табл. П.6.3);

$K6$ – коэффициент, зависящий от времени t_n в часах, прошедшего после начала аварии;

h – толщина слоя при разливе, м;

ρ – плотность АХОВ, т/м³.

Значение коэффициента $K6$ определяется по формулам:

$$K6 = t_n^{0,3} \text{ при } t_n < t_{исп};$$

$$K6 = t_n^{0,8} \text{ при } t_n > t_{исп};$$

где $t_{исп}$ – расчетная продолжительность испарения вещества, принимаемая равной 4 ч.

При $t_{исп} < 4$ ч коэффициент $K6$ принимается для 4 ч.

3.6.4. В зависимости от эквивалентного количества АХОВ и скорости ветра определяются значения глубин зон заражения первичным Γ_1 и вторичным облаком Γ_2 по табл. П.6.4 Приложения 6. Полная глубина зоны заражения определяется по следующей формуле:

$$\Gamma = \Gamma_{max} + 0,5 \Gamma_{min}, \text{ км} \quad (3.34)$$

Где Γ_{max} – максимальный, Γ_{min} – минимальный из размеров Γ_1 и Γ_2 , соответственно.

Полученное значение Γ сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс Γ_n , определяемым по формуле:

$$\Gamma_n = t_n \cdot V_n, \quad (3.35)$$

Где t_n – время начала аварии, ч;

V_n – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данных скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч (табл. П.6.1 Приложения 6).

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из 2-х сравниваемых между собой значений.

4. РАСЧЕТНЫЕ АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА ТИПОВЫХ ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

4.1. Типовые аварийные ситуации с СУГ

4.1.1. При рассмотрении типовых аварийных ситуаций с участием СУГ необходим учет следующих общих специфических особенностей:

при температуре окружающей среды содержимое цистерны, как правило, представляет собой двухфазную среду (жидкость – пар) с давлением, превышающим атмосферное (иногда в 7 – 8 раз);

заполнение и опорожнение цистерны невозможно осуществлять без герметизации системы слива-налива;

разгерметизация цистерны в любой ее точке приводит к истечению жидкой и (или) парообразной среды с образованием в окружающем пространстве взрывоопасного паровоздушного облака;

при истечении жидкой фазы определенная часть ее (в некоторых случаях до 40%) мгновенно испаряется, остальная часть жидкости образует зеркало пролива, из которого происходит интенсивное испарение продукта;

перевозимые продукты являются горючими веществами, минимальные энергии зажигания смесей паров которых с воздухом весьма низки. Исходя из этого, наиболее вероятным исходом аварии с разгерметизацией цистерны является воспламенение выходящего вещества через определенный период времени;

столкновение взрывоопасных паровоздушных облаков (ТВЖ) может приводить к образованию ударных волн с тем или иным разрушением окружающих объектов;

нагрев цистерны с СУГ в очаге пожара, в результате чего происходит повышение температуры жидкости с соответствующим увеличением давления паров внутри емкости, а также увеличение температуры стенок цистерны, особенно в ее верхней части, не смываемой жидкой фазой. Вследствие этого возможен разрыв цистерны, мгновенное вскипание и воспламенение ее содержимого с образованием огненного шара.

4.1.2. Каждая аварийная ситуация с участием СУГ может иметь различные варианты развития.

Вариант 1. Истечение СУГ при разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при возникновении пробоин и др.

При этом возможны следующие ситуации:

ситуация 1.1. – устойчивое факельное горение;

ситуация 1.2. – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС.

В зависимости от условий горения ситуация 1.1. может иметь следующее развитие:

1) Непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. В этом случае опасность разрушения цистерны незначительна.

2) Факел пламени СУГ обтекает корпус аварийной или соседней цистерны с СУГ. В этом случае возможно разрушение цистерны от увеличения внутреннего давления СУГ и ослабления прочностных свойств стенок цистерны вследствие ее нагрева. При разрушении цистерны происходит выброс СУГ с образованием огненного шара.

При ситуации 1.2. можно ожидать следующее развитие:

1) пожары в соседних зданиях и сооружениях;

2) пожар на месте истечения;

3) разрушение соседних цистерн, зданий и сооружений.

Вариант 2. Разлив СУГ в результате возникновения пробоин, разгерметизации или схода цистерн с рельсов.

При этом возможны следующие развития аварии:

ситуация 2.1. – пожар на месте разлива продукта;

ситуация 2.2. – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС.

В зависимости от условий горения ситуация 2.1. может иметь следующее развитие:

1) Непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. В этом случае опасность разрушения цистерны незначительна;

2) Аварийная или соседняя цистерна находится в зоне пожара. В этом случае возможно разрушение цистерны, выброс СУГ с образованием огненного шара.

Ситуация 2.2. развивается аналогично ситуации 1.2.

4.2. Типовые аварийные ситуации с ЛВЖ и ГЖ

4.2.1. Причиной аварийных ситуаций с ЛВЖ (ГЖ) могут быть:

пробой корпуса цистерны при столкновении;

разрыв трубопроводов;

отказ запорной арматуры;

сход вагона с рельсов с разливом ЛВЖ и ГЖ.

4.2.2. Каждая аварийная ситуация с участием ЛВЖ и ГЖ может иметь различные варианты развития.

Вариант 1. Истечение продукта в результате разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при возникновении пробоин и др.

При этом возможны следующие ситуации:

ситуация 1.1. – устойчивое факельное горение;

ситуация 1.2. – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС.

В зависимости от условий горения ситуация 1.1. может иметь следующее развитие:

1) Непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. В этом случае опасность разрушения цистерны незначительна.

2) Факел пламени обтекает корпус аварийной или соседней цистерны с ЛВЖ. В этом случае возможно разрушение цистерны с разливом горящего продукта.

При ситуации 1.2. можно ожидать следующее развитие:

1) пожары в соседних зданиях и сооружениях;

2) пожар на месте истечения;

3) разрушение соседних цистерн, зданий и сооружений.

Вариант 2. Разлив ЛВЖ в результате возникновения пробоин, разгерметизации или схода цистерн с рельсов.

В этом случае возможны следующие ситуации развития пожара:

ситуация 2.1. – пожар на месте разлива продукта;

ситуация 2.2. – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС;

ситуация 2.3. – пожары на территории объекта вследствие попадания нефтепродукта в систему промышленной канализации.

В зависимости от условий горения ситуация 2.1. может иметь следующее развитие:

1) Непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. В этом случае опасность разрушения цистерны незначительна;

2) Аварийная или соседняя цистерна находится в зоне пожара. В этом случае возможно разрушение цистерны с разливом горящего продукта.

Ситуация 2.2. развивается по сценарию ситуации 1.2.

Вариант 3. Образование взрывоопасной концентрации ЛВЖ в цистерне (резервуаре). Данный вариант аварии наиболее вероятен на промывочно-пропарочных станциях.

В этом случае возможны следующие ситуации:

ситуация 3.1. – воспламенение ТВС с последующим пожаром цистерны;

ситуация 3.2. – взрыв (воспламенение) ТВС с последующим разрушением цистерны при взрыве.

4.3. Типовые аварийные ситуации с АХОВ

4.3.1. Причиной аварий с АХОВ могут быть:

разрушение цистерны от взрыва, переполнения, нагрева сжиженного АХОВ;
разрушение оболочки цистерн из-за неисправности;
пробой корпуса цистерны при столкновении;
нарушение герметичности из-за несовершенства конструкции и неисправности арматуры, манометров;
сход вагона с рельсов с разливом АХОВ из цистерны.

При авариях на железнодорожном транспорте возможны случаи выброса и проникновения в атмосферу АХОВ в газообразном, парообразном или аэрозольном состоянии.

4.3.2. Если в результате аварии происходит пролив (истечение) АХОВ и если его агрегатное состояние – сжиженный газ, то происходит практически мгновенное вскипание части продукта с образованием первичного облака. Далее происходит испарение продукта с образованием вторичного облака. Если АХОВ – сжатый газ, то происходит образование только первичного облака. Если АХОВ – жидкость, кипящая выше температуры окружающей среды, то происходит образование только вторичного облака.

При аварии с АХОВ на железнодорожном транспорте возможны следующие типовые варианты аварий:

Вариант 1. – в результате разрушения (повреждения) цистерны (сжиженный газ) происходит его свободный разлив с последующим испарением, при этом образуются первичное и вторичное облако АХОВ.

Вариант 2. – в результате разрушения (повреждения) цистерны (сжиженный газ) происходит выброс вещества с образованием только первичного облака АХОВ.

Вариант 3. – в результате разрушения (повреждения) цистерны (жидкость) происходит ее свободный разлив с последующим испарением, при этом образуются только вторичное облако АХОВ.

4.4. Типовые аварийные ситуации с горением ТГМ

4.4.1. Развитие пожара с участием ТГМ зависит от вида объекта и характеристики горючего вещества.

Горение ТГМ может происходить в грузовом подвижном составе, в производственных зданиях (депо, склады) и на открытых складах (шпалопропиточные заводы).

4.4.2. Типовой вариант развития пожара в подвижном составе с участием ТГМ.

Вариант 1. – в результате воздействия источника воспламенения происходит возгорание груза (ТГМ).

Возможно следующее развитие пожара:

ситуация 1.1. – в зоне воздействия пожара отсутствуют горючие материалы, распространения пожара на соседние вагоны не происходит;

ситуация 1.2. – в зоне воздействия пожара присутствуют горючие материалы, происходит распространение пожара на соседние вагоны и объекты.

4.4.3. Типовой вариант развития пожара ТГМ в производственных зданиях железнодорожного транспорта (склады хранения грузов).

Вариант 2. – воспламенение горючих материалов на складах хранения опасных материалов в результате воздействия открытого огня, искр, поджога и др.

В зависимости от вида горючего и условий его хранения возможно следующее развитие:

ситуация 2.1. – распространение пожара по зданию по горизонтали;

ситуация 2.2. – распространение пожара по зданию по горизонтали и по вертикали (на соседние этажи);

Пожары в закрытых складах хранения ТГМ обычно ограничиваются пределами здания.

4.4.4. Типовой вариант развития пожара на открытых складах лесоматериалов (шпалопропиточные заводы).

Вариант 3. – воспламенение лесоматериалов в результате воздействия открытого огня, искр, поджога и др.

Возможно следующее развитие пожара:

ситуация 3.1. – распространение пожара по штабелю лесоматериалов;

ситуация 3.2. – распространение пожара на соседние штабеля;

ситуация 3.3. – распространение пожара в результате разлета искр и головней на соседние объекты.

4.5. Типовые сценарии развития аварий на объектах железнодорожного транспорта

4.5.1. При расчетов возможных масштабов аварии и оценке опасных зон поражения принимается авария с максимально возможными последствиями исходя из рассмотрения вариантов ее реализации, развивающихся по наиболее неблагоприятному сценарию.

В связи с этим все многообразие аварийных ситуаций на объектах железнодорожного транспорта можно разделить на следующие.

Типовая авария 1 – истечение СУГ при разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при образовании пробоин и др.

Образование зоны взрывоопасных концентраций с последующим взрывом ТВС (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Образование зоны избыточного давления воздушной ударной волной. Образование зоны критических тепловых потоков при горении вытекающего СУГ. Разрушение цистерны с выбросом СУГ и образованием огненного шара. Образование зоны теплового излучения огненного шара.

Типовая авария 2 – разлив СУГ в результате возникновения пробоин, разгерметизации или схода цистерн с рельсов.

Образование зоны разлива СУГ (последующая зона пожара). Образование зоны взрывоопасных концентраций с последующим взрывом ТВС (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Образование зоны избыточного давления воздушной ударной волной. Образование зоны критических тепловых потоков при горении СУГ на площади разлива. Разрушение цистерны с выбросом СУГ и образованием огненного шара. Образование зоны теплового излучения огненного шара.

Типовая авария 3 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ЛВЖ.

Образование зоны разлива ЛВЖ (последующая зона пожара). Образование зоны взрывоопасных концентраций с последующим взрывом ТВС (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Образование зоны избыточного давления воздушной ударной волной. Образование зоны критических тепловых потоков при горении ЛВЖ на площади разлива.

Типовая авария 4 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ГЖ (дизельное топливо, керосин и др.).

Образование зоны разлива ГЖ (последующая зона пожара). Образование зоны критических тепловых потоков при горении ГЖ на площади разлива.

Типовая авария 5 – горение ТГМ в грузовом подвижном составе.

Образование зоны критических тепловых потоков при горении ТГМ на площади одного вагона (платформы).

Типовая авария 6 – горение ТГМ в производственном здании железнодорожного транспорта (локомотивное депо, склады хранения грузов).

Распространение пожара по всей площади здания. Образование зоны критических тепловых потоков при горении ТГМ.

Типовая авария 7 – горение ТГМ на открытых складах лесоматериалов (шпалопропиточные заводы).

Распространение пожара по всей площади склада. Образование зоны критических тепловых потоков при горении ТГМ. Образование зоны разлета искр и головней.

Типовая авария 8 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) сжиженного АХОВ.

Образование зоны разлива АХОВ. Образование первичного и вторичного облаков АХОВ. Образование зоны химического заражения.

Типовая авария 9 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) сжатого АХОВ.

Выброс вещества с образованием первичного облака АХОВ. Образование зоны химического заражения.

Типовая авария 10 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) АХОВ (жидкость).

Образование зоны разлива АХОВ. Образование вторичного облака. Образование зоны химического заражения.

4.5.2. Выбранные типовые аварии возможны на следующих объектах железнодорожного транспорта:

на станциях по наливу и сливу нефтепродуктов – типовые аварии 1 – 4, 8 – 10;

на сортировочных станциях – типовые аварии 1 – 5, 8 – 10;

на грузовых станциях и контейнерных площадках – типовые аварии 1 – 5, 8 – 10;

в локомотивных депо – типовые аварии 3, 4, 6;

на промывочно-пропарочных станциях типовые аварии 3,4;

в складах хранения ТГМ – типовая авария 6;

на шпалопропиточных заводах – типовая авария 7.

4.5.3. В зависимости от вида опасного груза и места его хранения (расположения) можно определить основные типовые сценарии аварий, которые могут возникнуть на тех или иных объектах:

цистерны (резервуары) с СУГ – типовые аварии 1,2;

цистерны (резервуары) с ЛВЖ и ГЖ – типовые аварии 3,4;

вагоны (платформы) с ТГМ – типовая авария 5;

производственные корпуса (здания) и склады, содержащие ТГМ – типовая авария 6;

открытые склады лесоматериалов – типовая авария 7;

цистерны (резервуары) с АХОВ – типовые аварии 8 – 10.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ

5.1. Общий алгоритм

Основными этапами алгоритма расчета последствий аварий на объектах железнодорожного транспорта являются:

- сбор исходной информации об объекте (вид опасных грузов, характеристика территории, расположение объектов и мест с возможным пребыванием людей);
- определение места аварии и выбор соответствующего сценария аварии;
- расчет зон поражения;
- оценка последствий аварии.

5.2. Порядок расчета опасных зон при авариях

5.2.1. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 1 (истечение СУГ при разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при возникновении пробоин и др.).

1) Расчет размеров зоны взрывоопасных концентраций (облака ТВС) производится в соответствии с п. 3.1.2.

При известном расходе газа и скорости ветра размеры зон загазованности при авариях с СУГ можно определять по табл. П. 7.1 (Приложение 7). По табл. П.7.2 (Приложение 7) определяется расход истечения СУГ в зависимости от размера отверстия.

2) Определяется центр взрыва облака ТВС.

При скорости ветра менее 1 м/с полагается, что дрейф незначителен. Центр взрыва – место аварии.

При скорости ветра более 1 м/с полагается, что центр взрыва расположен от места истечения по направлению ветра на расстоянии 150 м.

При прогнозировании возможной зоны загазованности и расположения центра взрыва принимается преобладающее направление ветра для данной местности.

3) Проверяются возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону взрывоопасных концентраций (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Принимается, что при попадании людей в пламя, происходит поражение со 100% летальным исходом.

4) Производится расчет размеров зон разрушений зданий и поражения людей от ударной волны при взрыве ТВС.

В соответствии с п. 3.1.4 производится расчет изменения избыточного давления при взрыве ТВС от расстояния. По вычисленным ΔP и табл. П.3.1-П.3.2 (Приложение 3) определяются степени поражения человека и разрушения зданий и соответствующие им зоны.

Для оперативной оценки размеров зон поражения можно воспользоваться данными Приложения 8. На рис. П.8.1 представлена рассчитанная зависимость избыточного давления ударной волны ΔP (кПа) при взрыве газозвушной смеси СУГ от расстояния R (м) при аварии на железнодорожной станции.

5) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону различной степени повреждения зданий и зону поражения людей от ударной волны по выбранному критерию.

6) Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения пожаров производится в соответствии с п. 3.4 и данных о

критических интенсивностях теплового излучения для человека (3 кВт/м^2) и горючих материалов (12 кВт/м^2).

Можно также воспользоваться данными Приложения 9, в котором представлены расчетные плотности теплового излучения (кВт/м^2) пожаров проливов СУГ от массы продукта и расстояния от границы пролива (факела) и даны оценки безопасных расстояний в зависимости от массы СУГ и диаметра пролива.

7) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

Степень поражения человека тепловым излучением пожара определяется величиной теплового потока, воздействующего на него, а также временем облучения (экспозиции). В Приложении 1 представлены данные для оценки воздействия теплового потока на человека.

Данные о критическом значении интенсивности облучения для твердых материалов, превышение которой может вызвать воспламенение смежных зданий или сооружений, в зависимости от продолжительности облучения приведены в Приложении 4.

8) Производится расчет плотности теплового излучения огненного шара от расстояния в соответствии с п. 3.5.

9) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением огненного шара по выбранному критерию и в зону загорания материалов.

Данные о вероятности поражения людей от теплового излучения огненного шара и размеры зон поражения представлены в табл. П.1.3 (Приложение 1) и на рис. П.9.4 (Приложение 9).

В пределах огненного шара все горючие материалы воспламеняются, 60% резервуаров СУГ взрываются с образованием огненного шара.

За пределами огненного шара воздействие огненного шара определяется наличием возгораемых веществ и величиной теплового потока.

5.2.2. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 2 (разлив СУГ в результате возникновения пробоин, разгерметизации или схода цистерн с рельсов).

1) Расчет размеров зон разлива производится в соответствии с п. 3.3.

2) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону разлива. Принимается, что при попадании людей в зону разлива, происходит поражение со 100% летальным исходом.

3) Далее производится расчет опасных зон аналогично п. 5.2.1 (подпункты 1-9).

5.2.3. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 3 (разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ЛВЖ).

1) Расчет размеров зон разлива производится в соответствии с п. 3.3.

2) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону разлива. Принимается, что при попадании людей в зону разлива, происходит поражение со 100% летальным исходом.

3) Расчет размеров зоны взрывоопасных концентраций (облака ТВС) производится в соответствии с п. 3.2.1.

4) Определяется центр взрыва облака ТВС.

При скорости ветра менее 1 м/с полагается, что дрейф незначителен. Центр взрыва – место аварии.

При скорости ветра более 1 м/с полагается, что центр взрыва расположен от места истечения по направлению ветра на расстоянии 150 м .

5) Проверяются возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону взрывоопасных концентраций (зона мгновенного поражения

пожара-вспышки). Принимается, что при попадании людей в пламя, происходит поражение со 100% летальным исходом.

б) Расчет размеров зон разрушений зданий и поражения людей от ударной волны при взрыве ТВС производится в соответствии с п. 3.2.2.

7) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону различной степени повреждения зданий и зону поражения людей от ударной волны по выбранному критерию.

8) Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения пожара производится в соответствии с п. 3.4.

При известной массе пролитого ЛВЖ можно воспользоваться рис. П.9.3 (Приложение 9), на котором представлены расчетные плотности теплового излучения пожаров от массы пролитого продукта и расстояния от границы пролива (факела).

9) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

Степень поражения человека тепловым излучением пожара определяется величиной теплового потока, воздействующего на него, а также временем облучения (экспозиции) (Приложение 1).

Данные о критическом значении интенсивности облучения для твердых материалов, превышение которой может вызвать воспламенение смежных зданий или сооружений, в зависимости от продолжительности облучения приведены в Приложении 4.

5.2.4. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 4 (разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ГЖ).

1) Расчет размеров зон разлива и проверка возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону разлива проводится аналогично п. 5.2.3 (подпункты 1 и 2).

2) Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения и проверка возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения осуществляется аналогично п. 5.2.3 (подпункты 8 и 9).

5.2.5. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 5 (горение ТГМ в грузовом подвижном составе).

1) Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения производится в соответствии с п. 3.4.

Можно также воспользоваться зависимостью интенсивности излучения пламени от расстояния при горении ТГМ (древесина), представленной на рис. П.9.5 (Приложение 9).

2) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

5.2.6. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 6 (горение ТГМ в производственном здании железнодорожного транспорта).

1) Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения производится в соответствии с п. 3.4.

Можно использовать зависимость интенсивности излучения пламени от расстояния при горении зданий различной степени огнестойкости, представленной на рис. П.9.6 (Приложение 9).

2) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

5.2.7. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 7 (горение ТГМ на открытых складах лесоматериалов).

1) Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения производится в соответствии с п. 3. 4.

Зависимость интенсивности излучения пламени от расстояния при горении ТГМ (древесина) показана на рис. П.9.5 (Приложение 9).

2) Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

3) Производится оценка дальности переноса высокотемпературных частиц (искр) по Приложению 10.

4) Проверяется возможность попадания объектов в зону разлета высокотемпературных частиц.

5.2.8. Порядок расчета опасных зон при типовых авариях 8-10 (разлив, утечка или выброс АХОВ).

1) Расчет глубины зоны заражения АХОВ ведется в соответствии с п. 3.6 и методикой /6/.

2) Проверяется возможность попадания мест с пребыванием людей в зону химического заражения.

5.3. Зоны воздействия опасных факторов пожара (взрыва) при расчетных аварийных ситуациях

5.3.1. На основе расчета опасных факторов пожара (взрыва) для расчетных аварийных ситуаций на типовых объектах железнодорожного транспорта с опасными грузами и сравнения их с критическими значениями опасных факторов определены зоны воздействия опасных факторов на различных расстояниях от места аварии и безопасные радиусы для людей и зданий различного назначения.

5.3.2. Зона воздействия взрыва ТВС при проливе СУГ. Зависимость избыточного давления от расстояния от центра взрыва ТВС, образовавшегося при разрушении стандартной цистерны с СУГ с объемом 54 м³ и со степенью заполнения цистерны СУГ 85% представлена в табл. П.7.4 Приложения 7.

Безопасные радиусы (по избыточному давлению) при авариях с СУГ на станции по наливу-сливу нефтепродуктов:

Люди	$\Delta P = 3$ кПа	–	1800 м;
общественный транспорт	$\Delta P = 16$ кПа	–	450 м;
складские здания	$\Delta P = 15$ кПа	–	500 м;
жилые здания	$\Delta P = 10-20$ кПа	–	800 м;
здания 4-5 ст. огнестойкости	$\Delta P = 10$ кПа	–	800 м;
здания 3 ст. огнестойкости	$\Delta P = 15$ кПа	–	500 м;
здания 1-2 ст. огнестойкости	$\Delta P = 25$ кПа	–	400 м;
промышленные здания	$\Delta P = 30$ кПа	–	330 м.

Безопасные радиусы (по избыточному давлению) при авариях с СУГ на станции по наливу-сливу нефтепродуктов:

Люди	$\Delta P = 3$ кПа	–	1500 м;
общественный транспорт	$\Delta P = 16$ кПа	–	450 м;
складские здания	$\Delta P = 15$ кПа	–	450 м;
жилые здания	$\Delta P = 10-20$ кПа	–	700 м;
здания 4-5 ст. огнестойкости	$\Delta P = 10$ кПа	–	700 м;
здания 3 ст. огнестойкости	$\Delta P = 15$ кПа	–	450 м;

здания 1-2 ст. огнестойкости	$\Delta P = 25$ кПа	–	350 м;
промышленные здания	$\Delta P = 30$ кПа	–	200 м.

5.3.3. Зона воздействия теплоизлучения огненного шара. Зависимость плотности теплового потока от расстояния R от центра и от поверхности (в скобках) огненного шара, образовавшегося при взрыве одной цистерны с СУГ представлена в табл. 5.1.

Таблица 5.1

R , м	60 (0)	120 (60)	180 (120)	240 (180)	300 (240)
q , кВт/м ²	200	50	22	13	8

Безопасные радиусы при авариях с образованием огненного шара СУГ:

люди (персонал)	– 300 м;
общественный транспорт	– 120 м;
складские здания	– 100 м;
жилые здания	– 100 м.

5.3.4. Зона воздействия теплоизлучения пожаров проливов. Зависимость плотности теплового излучения q (кВт/м²) от расстояния R (м) представлена в Приложении 9.

Безопасные расстояния при горении проливов СУГ и ЛВЖ:

1) Пролив СУГ – 24 т

Безопасные расстояния для людей – 80 м.

Безопасные расстояния для зданий – 40 м.

2) Пролив СУГ – 48 т

Безопасные расстояния для людей – 100 м.

Безопасные расстояния для зданий – 50 м.

3) Пролив ЛВЖ – 24 т

Безопасные расстояния для людей – 60 м.

Безопасные расстояния для зданий – 35 м.

4) Пролив ЛВЖ – 48 т

Безопасные расстояния для людей – 80 м.

Безопасные расстояния для зданий – 45 м.

5) Пролив СУГ площадью 1500 м

Безопасные расстояния для людей – 120 м.

Безопасные расстояния для зданий – 55 м.

Наиболее вероятная аварийная ситуация – разрушение одной цистерны. Поэтому за безопасные расстояния при вероятном сценарии принимаются 80 м для людей и 40 м для зданий. Максимальные безопасные расстояния – 120 м для людей и 60 м – для зданий.

5.3.5. Зона разлета осколков (обломков) при взрыве цистерны. Безопасные расстояния для людей и зданий при наиболее вероятном варианте разрушения (взрыве) цистерны – 150 м. Максимальные безопасные расстояния – 120 м для людей и зданий – 450 м.

5.3.6. Зона разлета горящих частиц, искр и головней при пожаре лесоматериалов в зависимости от площади пожара и скорости ветра представлена в Приложении 10. При наиболее вероятной скорости ветра 4-6 м/с дальность переноса искр достигает 1,5 км.

5.3.7. Зона взрывоопасных концентраций при проливах и утечках СУГ.

Размеры взрывоопасных зон для стандартной цистерны с СУГ объемом 54 м³ и со степенью заполнения цистерны СУГ 85% оцениваются по табл. 5.2.

Размеры взрывоопасных зон для различных СУГ

Место аварии	Вещество	Масса СУГ, т	Радиус, м
Сортировочная станция	Пропилен	29	290
Столкновение цистерн	Пропан-бутан	32	295
Разгерметизация углового вентиля	Н-бутан	35	300
	Изопентан	43	330

Радиусы взрывоопасных зон определяют размеры возможного пожара после воспламенения (пожар-вспышка) ТВС.

Радиус взрывоопасной зоны на сортировочной станции до 330 м.

5.3.8. Зоны аварийного разлива СУ и ЛВЖ.

Площадь разлива от одной цистерны зависит от метеоусловий, состояния балласта и уклона путей, рельефа местности и составляет 160-300 м².

Площадь пожара разлива СУГ составляет 160 м² для одной цистерны и 320 м² – для двух цистерн.

Площадь разлива ЛВЖ и ГЖ на станциях зависит от места аварии и количества цистерн, получивших повреждения. Для наиболее неблагоприятных сценариев аварии площади разливов могут быть:

для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей – 3000 м²;

для остальных станций – 1500 м²;

для одной цистерны – 160-300 м²;

для двух цистерн – 300-500 м².

5.3.9. Зоны химического заражения при аварии АХОВ определяются по методике /6/.

Вероятные зоны распространения облаков некоторых АХОВ с поражающими концентрациями на открытой местности при скорости ветра 1 м/с в зависимости от массы пролива АХОВ и состояния атмосферы представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Наименование АХОВ	Масса АХОВ, т				
	5	10	25	50	75
При инверсии					
Хлор	20	40	70	90	100
Сероводород	5	8	13	20	25
Аммиак	3	4	6	9	12
Сернистый ангидрид	4	4	7	10	13
Пропилен	3	3	5	8	12
Фенол	3	5	8	12	15
При изотермии					
Хлор	4,6	7,0	11,5	16,0	19,0
Сероводород	1,1	1,5	2,5	4,0	5,0
Аммиак	0,7	0,9	1,3	1,9	2,4
Сернистый ангидрид	0,8	0,9	1,4	2,0	2,5
Пропилен	0,5	1,0	1,5	3,0	2,5
Фенол	0,8	1,1	1,8	2,2	2,7
При конвекции					
Хлор	1,0	1,4	1,9	2,4	3,0
Сероводород	0,3	0,5	0,6	0,9	1,1
Аммиак	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Сернистый ангидрид	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Пропилен	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Фенол	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8

6. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ АВАРИЯХ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ

6.1. Расчет пожарной обстановки при авариях с СУГ и ЛВЖ

6.1.1. Расчет возможной пожарной обстановки проводится по следующим этапам:

1) выбор типовой аварийной ситуации (глава 4);
2) расчет опасных зон поражающих факторов аварии (п.5.2), который должен включать:

расчет размеров зон разлива, т.е. последующую зону пожара пролива (п.3.3);

расчет зон загазованности (взрывоопасных концентраций), т.е. последующую зону поражения пожара-вспышки);

расчет размеров зон разрушений цистерн (резервуаров), зданий и поражения людей от ударной волны при взрыве ТВС, т.е. определение возможных проливов СУГ или ЛВЖ;

расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения, т.е. определяется возможность распространения пожара на другие объекты;

расчет размеров зон поражения тепловым излучением от огненного шара (при авариях СУГ), т.е. определяется возможность распространения пожара на другие объекты;

3) отображение опасных зон и зон пожаров на ситуационном плане объекта.

6.1.2. При оценке пожарной обстановки необходим учет особенностей пожаров.

При аварии с СУГ площадь зоны загазованности при разгерметизации одной цистерны СУГ достигает 2500 м^2 и может иметь протяженность до 250 м. При попадании цистерны, заполненной СУГ, в факел пламени в ней резко повышается давление, предохранительные клапаны не успевают стравливать газ и через 16-24 мин цистерна разрушается со взрывом, выбросом пламени на высоту до 150 м и образованием новых очагов горения на расстоянии до 150 м. При этом образуется огненный шар диаметром 120-150 м. Осколки взорвавшейся цистерны разбрасываются на расстоянии до 150 м, в отдельных случаях – до 450 м. Иногда взрыв срывает цистерну с рамы и отбрасывает ее на расстояние до 80 м.

Взрыв одной железнодорожной цистерны с СУГ способствует увеличению площади пожара до 160 м^2 в зависимости от состояния балласта железнодорожных путей и рельефа местности.

Быстрее всего пожар развивается при разливе СУГ из железнодорожных цистерн в результате аварий, столкновения или крушения поездов. При этом цистерны опрокидываются и повреждаются, вследствие чего площадь пожара может достигать 10 тыс. м^2 . По разлитому продукту горение распространяется не только на ближайшие поезда, но и на соседние складские, производственные и административные здания, а в некоторых случаях – на постройки прилегающих районов.

Характерной особенностью рассматриваемых пожаров является значительная скорость роста площади горения. Обычно она составляет около $330 \text{ м}^2/\text{мин}$, а иногда достигает $1000 \text{ м}^2/\text{мин}$. Если в результате аварии цистерн СУГ растекается без горения, то при воспламенении предварительно разлитой жидкости рост площади пожара будет характеризоваться скоростью распространения пламени по поверхности продукта, которая определяется его физико-химическими свойствами. Если же воспламенение продукта происходит одновременно с аварией, то скорость роста площади пожара будет определяться гидродинамическими свойствами потока жидкости, зависящими от ее расхода, уклона местности, вязкости продукта и скорости выгорания.

6.1.3. При разливе ЛВЖ из железнодорожных цистерн в результате аварии, столкновения и крушения площадь пожара может достигнуть 10-35 тыс. м^2 . По разлитому

нефтепродукту горение распространяется не только на соседние поезда, но и на ближайшие здания, а при попадании горящего разлитого нефтепродукта в канализацию или сточные канавы – на объекты, расположенные на расстоянии до 1 км.

Площадь разлива от одной цистерны зависит от метеоусловий, состояния балласта и уклона путей, рельефа местности и составляет 160-300 м². Скорость распространения пламени по разлитому продукту составляет 15-25 м/мин и может возрасти в отдельных случаях до 40 м/мин.

Если орошение водяными стволами не осуществляется, то разрушение железнодорожных цистерн с ЛВЖ и ГЖ происходит, как правило, через 15-25 мин после начала воздействия на них открытого факела пламени.

Высота факела при разрушении цистерн достигает 50 м. При этом общая площадь пожара может увеличиться до 1500 м².

Площадь разлива ЛВЖ и ГЖ га станциях зависит от места аварии и количества цистерн, получивших повреждения. Для наиболее неблагоприятных сценариев аварии площади разливов могут быть:

для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей – 3000 м²;

для остальных станций – 1500 м²;

для одной цистерны – 160-300 м²;

для двух цистерн – 300-500 м².

В очаге пожара при этом находятся:

6 цистерн – для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей;

3 цистерны – для остальных станций.

На соседних путях расположены поезда:

с 8 цистернами с ЛВЖ – для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей;

с 4 цистернами – для остальных станций.

6.1.4. Длина и ширина фронта пожара определяются исходя из условия прямоугольной формы его распространения:

$$S_n = a \cdot b,$$

где S_n – площадь пожара, м²;

a – длина фронта пожара, м;

b – ширина фронта пожара, м.

При разливе СУГ, ЛВЖ и ГЖ скорость развития пожара вдоль железнодорожных путей в среднем в 3,5 раза выше, чем скорость распространения пламени на поезда, находящиеся на соседних путях, поэтому принимается $a=3,5 \cdot b$.

Тогда:

$$S_n = 3,5 \cdot S_n = a \cdot b^2,$$

$$b = (S_n/3,5)^{1/2}.$$

6.2. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ в подвижном составе

6.2.1. Определение времени охвата пламени грузового вагона осуществляется по формуле:

$$t_{\text{полн}} = L/V$$

или

$$t_{\text{полн}} = S_{\text{в}}/U.$$

где L – максимальный линейный размер (длина) вагона, м;

V – линейная скорость развития пожара, м/мин;

U – скорость роста площади пожара, м²/мин;

$S_{\text{в}}$ – площадь вагона, м².

Ориентировочное время полного охвата вагона составляет:

для открытых платформ – 10-15 мин;

для закрытых грузовых вагонов – 15 – 20 мин.

6.2.2. Определение линейной скорости пожара.

Для каждого материала линейная скорость распространения пожара определяется по данным Приложения 11.

6.3. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ на складах хранения грузов

6.3.1. Площадь пожара S_n (м²) в любой момент времени t (мин) определяется по формулам:

1) Для круговой формы распространения пожара (пожар начинается вблизи центра склада):

$$S_n = \pi \cdot (V \cdot t)^2 \text{ при } t < c/V,$$

$$S_n = \pi \cdot c^2 + 2 \cdot V \cdot (t - c/V) \text{ при } t > c/V,$$

где c – половина ширины склада, м;

V – скорость распространения пожара, м/мин.

2) Для угловой формы распространения пожара (пожар начинается вблизи в углу склада):

$$S_n = \pi/4 \cdot (V \cdot t)^2 \text{ при } t < 2 \cdot c/V,$$

$$S_n = \pi \cdot c^2 + V \cdot (t - 2 \cdot c/V) \text{ при } t > 2 \cdot c/V.$$

3) Для полукруговой формы (пожар начинается у стен склада):

$$S_n = \pi/2 \cdot (V \cdot t)^2 \text{ при } t < 2 \cdot c/V,$$

$$S_n = 2 \cdot \pi \cdot c^2 + 2 \cdot V \cdot (t - 2 \cdot c/V) \text{ при } t > 2 \cdot c/V.$$

6.3.2. Определение времени полного охвата пламенем помещения склада при угловой форме распространения пожара производится по следующей формуле:

$$t_{\text{полн}} = L/V, \text{ мин.}$$

где L – максимальный линейный размер (длина) вагона, м.

При круговой форме распространения пожара:

$$t_{\text{полн}} = L/(2 \cdot V), \text{ мин.}$$

6.4. Расчет количества вагонов, охваченных пожаром

6.4.1. Количество вагонов, которые могут пострадать при пожаре, определяется следующим образом:

общее количество вагонов в очаге пожара:

$$N = S_n \cdot K_p / S_v,$$

где N – общее количество вагонов, охваченных огнем, шт.;

S_v – средняя площадь пола вагона, м^2 ;

K_p – коэффициент, учитывающий расстояние между подвижным составом ($K_p = 0,75$ при полной загрузке станции);

Количество N_k вагонов на крайних железнодорожных путях по длине фронта пожара:

$$N_k = a / (L_v + 1),$$

где L_v – средняя длина вагона (цистерны), м; при этом учитывается расстояние между торцами вагонов, равное 1 м;

количество $N_{\text{ш}}$ вагонов на железнодорожных путях по ширине фронта пожара:

$$N_{\text{ш}} = b \setminus \Gamma_{\text{жд}},$$

где $\Gamma_{\text{жд}}$ – минимальное расстояние, занимаемое одним железнодорожным путем с подвижным составом, м (принимается равным 4 м полной загрузке станции);

по периметру пожара без учета цистерн, указанных в п. 6.1.6, из которых произошел разлив:

$$N_{\text{п}} = 2 \cdot [N_k + (N_{\text{ш}} - 2)] - N_r,$$

где $(N_{\text{ш}} - 2)$ – количество вагонов (цистерн) по ширине фронта пожара, на которые распространилось пламя, за вычетом вагонов на крайних путях (-2), шт.;

N_r – количество цистерн на горящих путях, шт. (принимается по исходным данным п. 6.1.3).

7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА (ВЗРЫВА) НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПЕРСОНАЛ И НАСЕЛЕНИЕ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

7.1. Общие положения

7.1.1. Предупреждение и локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал и население при аварийных ситуациях на объектах железнодорожного транспорта обеспечиваются согласно /18/ (ГОСТ 12.1. 004-91. Пожарная безопасность. Общие требования) системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, а также организационно-техническими мероприятиями.

7.1.2. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов, обеспечивается при условии выполнения действующих Правил технической эксплуатации железных дорог (ПТЭ) /19/, Правил перевозок грузов /20/, Инструкции по движению поездов и маневровой работе /21/, Правил пожарной безопасности на железнодорожном транспорте /14/, Инструкции по составлению техническо-распорядительных актов станций /22/ и других нормативных документов, регламентирующих технологические процессы работы сортировочной станции, железнодорожных станций по наливу и сливу нефтегрузов и промывочно-пропарочных предприятий по очистке и подготовке цистерн под перевозку грузов.

7.1.3. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население достигается выполнением действующих строительных норм и правил, регламентирующих размещение объектов железнодорожного транспорта по отношению к городской застройке и селитебной территории /23, 24/, а также "Правил безопасности и порядка ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам" /11/.

Для действующих объектов железнодорожного транспорта, расположенных вблизи от селитебной территории, совместно с соответствующими территориальными органами управления по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций должны быть разработаны организационно-технические мероприятия, обеспечивающие своевременное оповещение и эвакуацию населения за пределы опасной зоны в случае возникновения аварии.

7.2. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов

7.2.1. Предотвращение аварийных ситуаций при перевозке опасных грузов в первую очередь зависит от организации технической работы станции, регламентированной Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации /19/ и другими нормативными документами /14, 20-22/.

Порядок использования технических средств станции устанавливается техническо-распорядительным актом, которым регламентируется безопасный и беспрепятственный прием, отправление и проследование поездов по станции, безопасность внутростанционной маневровой работы и соблюдение техники безопасности.

Порядок, установленный техническо-распорядительным актом, является обязательным для работников всех служб (п.15.1 ПТЭ /19/).

7.2.2. К техническо-распорядительному акту станции прилагаются схематический план станции и необходимые инструкции, в том числе инструкция о порядке действий

работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров.

Указанная инструкция должна находиться в помещениях дежурного по станции, маневрового диспетчера, дежурных по паркам и сортировочным горкам.

В инструкции о порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров должны быть отражены требования, изложенные в Рекомендациях /7/, а именно:

1) В соответствии с п. 16.2 ПТЭ /19/ должны быть определены районы управления и распределены между работниками станции обязанности по рассредоточению и выводу из опасной зоны вагонов и составов, а также локализации аварии и пожаров в начальной стадии.

2) Для работников станции должно быть предусмотрено немедленное выполнение следующих работ при возникновении пожара:

провести в течение 15 мин рассредоточение вагонов и составов на безопасное расстояние от очага пожара (горящего вагона, места разлива и горения ЛВЖ, ГЖ, СУГ и т.п.);

освободить от подвижного состава не менее трех соседних путей с обеих сторон от очага пожара и вывести составы из опасной зоны на расстояние не менее 250 м. В первую очередь должны быть выведены из зоны возможного воздействия поражающих факторов аварий составы с разрядными грузами;

обесточить и заземлить контактную сеть на участках работы пожарных подразделений за время не более 10 мин с момента получения извещения о пожаре;

освободить два пути в безопасной зоне с наветренной стороны от очага пожара, но не далее четвертого-пятого путей, для приема прибывающих пожарных и восстановительных поездов;

продолжить эвакуацию подвижного состава (в первую очередь с людьми и опасными грузами) в сторону вытяжных путей с учетом преобладающего направления развития пожара, при угрозе станционным сооружениям, строениям и окружающей застройке;

освободить пути или создать разрыв между вагонами, по указанию руководителя тушения пожара (РТП), для проведения боевого развертывания и прокладки рукавных линий прибывающими пожарными подразделениями;

приступить к тушению пожара силами ДПД с помощью первичных средств пожаротушения, проложить рукавную линию от ближайших водоисточников и при условии обеспечения личной безопасности осуществлять с помощью распыленных струй воды защиту работников, выполняющих операции по эвакуации подвижного состава и опасных грузов.

3) После прибытия пожарных подразделений действия работников станции по эвакуации и рассредоточению подвижного состава осуществляются по указанию РТП или по согласованию с ним. Руководителем работ по ликвидации последствий аварийных ситуаций является старший начальник железной дороги (начальник дороги, станции и их заместители) или начальник восстановительного поезда. После прибытия к месту пожара подразделений ГПС МВД России назначается руководитель тушения пожара, согласно инструкции /25/. РТП возглавляет работы по тушению пожара и управляет всеми подразделениями пожарной охраны, участвующими в ликвидации пожара.

На пожаре РТП обязан (через представителя администрации, входящего в состав оперативного штаба):

установить вид материалов, содержащихся в горящих и соседних вагонах;

принять меры по отцепке горящих вагонов и выводу их в безопасное место;

потребовать до начала тушения письменное разрешение, подтверждающее снятие напряжения с контактных сетей и их заземление на участках работы пожарных подразделений.

После установления вида горящих материалов РТП совместно с администрацией по аварийным карточкам определяют пожарную опасность грузов и материалов и необходимые огнетушащие вещества.

Работники железнодорожного транспорта поддерживают связь между собой с помощью средств связи железной дороги (радиотелефонной и громкоговорящей). Для более четкого взаимодействия работников железной дороги, оперативного штаба на пожаре и РТП, к ним следует прикреплять связных с радиостанциями, работающими на частотах оперативного штаба на пожаре.

Ликвидация пожаров в подвижном составе на электрифицированных участках должна производиться только после получения письменного разрешения с указанием в нем номера приказа энергодиспетчера и времени снятия напряжения. Снятие напряжения с контактной сети обеспечивается дежурным энергодиспетчером. До обесточивания контактной сети и ее заземления на этих участках запрещается приближаться к контактным проводам на расстояние менее 2 м и к оборванным концам ближе 10 м.

Тушение без снятия напряжения допускается внутри вагонов подвижного состава, а также горящих предметов, расположенных на расстоянии свыше 7 м от контактной сети, при условии, что струя пены или воды не будет касаться контактных проводов и других частей, находящихся под напряжением.

Работниками железнодорожного транспорта должны быть приняты меры для расшифровки грузов по перевозочным документам. Если свойства веществ и материалов неизвестны, принять меры по их выяснению (через грузоотправителя или грузополучателя), а в необходимых случаях направления их специалистов на место происшествия. Подавать огнетушащие вещества (воду, пену) следует только после выяснения рода груза.

7.2.3. Маневры на станционных путях должны производиться по указанию только одного работника – дежурного по станции, маневрового диспетчера, дежурного по сортировочной горке или парку, а на участках, оборудованных диспетчерской централизацией, – поездного диспетчера. Распределение обязанностей по распоряжению маневрами указывается в техническо-распорядительном акте станции.

7.2.4. На станциях, имеющих горочные устройства для сортировки вагонов, маневры должны производиться в соответствии с инструкциями, утвержденными начальником дороги.

Запрещается производить маневры толчками и спускать с горки:

вагоны с грузами отдельных категорий в соответствии с Правилами перевозок грузов /20/;

вагоны и специальный подвижной состав, имеющие трафарет "С горки не спускать".

Указанный подвижной состав может быть пропущен через сортировочную горку только с маневровым локомотивом.

7.2.5. Вагоны с опасными грузами отдельных категорий, требующими особой осторожности (в соответствии с Правилами перевозок грузов /20/), при производстве маневров должны иметь прикрытие от паровоза, работающего на твердом топливе, не менее одного вагона с неопасным грузом или порожнего. Цистерны с СУГ и ЛВЖ должны иметь прикрытие от ведущего тепловоза не менее двух вагонов с неопасными грузами или порожних. Необходимое число вагонов прикрытия указывает грузоотправитель в перевозочных документах. Вагоны с разрядными грузами и цистерны со сжиженными газами при стоянке на станции вне поездов, за исключением находящихся

под накоплением на путях сортировочных парков, должны устанавливаться на особых путях, устанавливаемых технико-распорядительным актом станции. Такие вагоны должны быть сцеплены, надежно закреплены от ухода и ограждены переносными сигналами остановки.

Стрелки, ведущие на путь стоянки таких вагонов, устанавливаются в положение, исключающее возможность заезда на этот путь.

При нахождении вагонов с опасными грузами и цистерн со сжиженными газами под накоплением на путях сортировочных парков должны соблюдаться особые меры предосторожности, установленные Инструкцией по движению поездов и маневровой работе /21/.

7.2.6. Движением локомотива, производящего маневры, должен руководить только один работник – руководитель маневров (составитель поездов), ответственный за правильное их выполнение. Руководитель маневров обязан:

организовать маневровую работу так, чтобы была обеспечена безопасность движения;

маневры с вагонами, занятыми опасными грузами, следует производить с особой осторожностью;

строго выполнять указания технико-распорядительного акта станции по распределению вагонов и цистерн с опасными грузами (разрядными грузами и сжиженными газами) на путях, предназначенных для их стоянки;

знать свои обязанности, предусмотренные инструкцией о порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров и принимать немедленные меры по расцепке вагонов и их транспортировке в указанные инструкцией места;

выполнять задания дежурного по станции и других должностных лиц, указанных в п.7.2.3 настоящего раздела, на маневровую работу при возникновении аварийной ситуации.

Задание на маневровую работу должно быть дано четко и ясно и доведено руководителем маневров до каждого причастного работника. При обнаружении загорания в вагоне составитель поездов должен сообщить по радиостанции о пожаре дежурному по станции и машинисту локомотива, участвующему в маневровых работах.

Порядок ознакомления локомотивных и составительских бригад с инструкцией о порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров устанавливается начальником дороги.

7.2.7. По прибытию поезда, в составе которого имеются вагоны (цистерны) с опасными грузами, должна быть проведена его обработка с особой тщательностью в парке прибытия, в соответствии с требованиями, изложенными в Типовом технологическом процессе работы сортировочной станции /27/ (раздел 4. Технология обработки транзитного вагонопотока).

Особое внимание должно быть уделено техническому обслуживанию и осмотру вагонов с опасными грузами в коммерческом отношении с целью выявления вагонов, требующих отцепочного ремонта и устранения коммерческих неисправностей, угрожающих безопасности движения.

По окончании технического обслуживания и коммерческого осмотра состава старший осмотрщик вагонов сообщает в станционный технологический центр номера вагонов, требующих отцепочного ремонта, а приемщик поездов – номера вагонов, требующих подачи на специальные пути для устранения неисправностей, угрожающих безопасности движения. Об окончании осмотра состава старший осмотрщик и приемщик поездов уведомляют дежурного по станции (парку).

7.2.8. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов, существенно зависит от выполнения Правил их перевозки при подготовке подвижного состава под погрузку грузоотправителями, которые несут ответственность за последствия, вызванные неправильным определением условий перевозки грузов и за неправильное указание сведений, характеризующих груз в аварийной карточке.

Общие и специальные условия перевозки опасных грузов определяются Правилами перевозок опасных грузов и должны строго соблюдаться при подготовке подвижного состава под погрузку, а также при проведении погрузочно-разгрузочных работ и транспортировании этих грузов. Требования пожарной безопасности к перевозке опасных грузов изложены в главе 5 Правил пожарной безопасности на железнодорожном транспорте /14/.

7.3. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население

7.3.1. Зона воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население должна быть ограничена в пределах безопасных расстояний от сортировочных и грузовых станций, на которых обращаются или хранятся опасные грузы, до селитебной территории городов. Расчет радиусов опасных зон приводится в разделе 3 настоящего Руководства.

7.3.2. Согласно строительно-техническим нормам /23/ генеральные схемы развития железнодорожных узлов и технико-экономические обоснования крупных станций следует разрабатывать в увязке с проектами планировки городов в соответствии со СНиП /24/, согласно которым новые сортировочные станции общей сети железных дорог следует размещать за пределами городов, а грузовые станции и контейнерные площадки – за пределами селитебной территории.

При необходимости реконструкции грузовых станций (районов), расположенных в зоне жилой застройки городов и в стесненных условиях, должен быть рассмотрен вариант выноса их за пределы города. При проектировании объектов железнодорожного транспорта должны также учитываться требования СНиП 2.01.51-90 «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны».

7.3.3. В планах ликвидации аварийных ситуаций и оперативных планах пожаротушения на действующих объектах железнодорожного транспорта, создающих угрозу населению в ближайшей городской застройке, должно быть предусмотрено оповещение о пожаре (аварии) для своевременной эвакуации людей за пределы опасной зоны, а также указаны кратчайшие пути эвакуации и границы опасной зоны для каждого вида аварии, а также последствия воздействия опасных факторов пожара (взрыва) в пределах этих зон.

7.4. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал объектов железнодорожного транспорта

7.4.1. Сортировочные, участковые и грузовые станции должны быть обеспечены необходимыми средствами противопожарной защиты. Грузовые устройства и путевое развитие, соответствующие предстоящей грузовой работе, следует концентрировать на одном грузовом районе станции со специализированными для переработки опасных грузов площадками, оборудованными стационарными установками пожаротушения, в том числе и автоматическими, с соответствующими определенному виду грузов однородными средствами пожаротушения. Могут также создаваться в пределах станций несколько

специализированных грузовых районов для переработки отдельных родов опасных грузов с аналогичными системами противопожарной защиты.

7.4.2. Требования пожарной безопасности для складов общего и специального назначения, грузовых районов, контейнерных площадок и сортировочных платформ, обеспечивающих предупреждение и локализацию опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал, изложены в главе 1 Правил пожарной безопасности на железнодорожном транспорте /14/, в которой изложены общие, а также специальные требования к складам хранения опасных и особо опасных грузов.

7.4.3. При проектировании новых и реконструкции действующих сортировочных, участковых и грузовых станций (следует предусматривать специальные пути, на которые необходимо направлять поврежденный подвижной состав с опасными грузами для проведения мероприятий, указанных в аварийных карточках (устранению утечки паровой и жидкой фазы СУГ и ЛВЖ, тушения факела истекающих газов и жидкостей, охлаждению цистерн, дегазации и нейтрализации опасных грузов и т.п.). Для этой цели указанные пути должны быть оборудованы стационарными установками пожаротушения, лафетными стволами, устройствами и запасными емкостями для слива, перекачки и эвакуации опасных грузов.

Противопожарное водоснабжение в парках станции, на которых производятся расформирование, формирование, погрузочно-разгрузочные операции и отстой составов, должно соответствовать требованиям, изложенным в разделе 25 СТН Ц-01-95 /33/. Приемно-контрольные пункты пожарной сигнализации и дистанционную систему включения насосов-повысителей необходимо размещать в помещениях дежурных по станциям, которые должны быть обеспечены прямой телефонной связью с ЦППС гарнизона ГПС МВД России.

7.4.4. При проведении работ, регламентированных инструкцией «О порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров» в начальной стадии до прибытия специальных подразделений и аварийных служб, производственный персонал станции должен действовать по указанию должностных лиц, указанных в п.п.7.2.3 и 7.2.6 настоящего раздела, соблюдая правила техники безопасности, изложенные в аварийных карточках.

7.4.5. В случае невозможности проведения маневров по перестановке аварийных вагонов на специальные пути (безопасные места) для ликвидации аварийной ситуации, а также вывода вагонов на перегон, начальник станции и другие должностные лица, указанные в п.п. 7.2.3 и 7.2.6 настоящего раздела, должны принять следующее экстренное решение по минимизации угрозы безопасности людей и объектов станции при аварийных ситуациях, перечисленных ниже:

1) При интенсивной утечке сжиженных газов из поврежденной цистерны немедленно эвакуировать персонал станции (объекта) за пределы загазованной зоны в наветренную сторону на расстояние не менее 250 м от места аварии.

Прекратить маневровые работы и движение поездов, устранить все возможные источники огня, искр, тепла, запретить курение, объявив об этом по оповестительной парковой связи.

Вызвать пожарные и аварийно-спасательные подразделения, восстановительный и пожарный поезда, организовав их встречу за пределами загазованной зоны.

Обеспечить контроль по границе безопасной зоны, исключить доступ посторонних лиц на территорию станции.

2) При факельном горении СУГ из предохранительного клапана или из пробойны в верхней части цистерны немедленно вывести из зоны воздействия факела пламени подвижной состав или организовать вывод аварийной цистерны в безопасное место под прикрытием 3 порожних платформ на расстояние не менее 250 м.

Привлечь местную ДПД для подачи водяных стволов для охлаждения верхней части котла аварийной цистерны до прибытия пожарных подразделений. Если организовать охлаждение цистерны силами ДПД не представляется возможным, организовать эвакуацию людей за пределы 250-метровой зоны в течение не менее 15 минут с начала аварийной ситуации.

3) При пробоине цистерны в нижней части котла с истечением горящего СУГ никаких действий по выводу подвижного состава из зоны воздействия огня и тушению пожара не производить, немедленно эвакуировать людей за пределы опасной зоны на расстояние не менее 400-500 м в течение не менее 15 минут с начала аварии.

4) При утечке (проливе) ЛВЖ и ГЖ из цистерны места проливов засыпать или обваловать песком с применением деревянных носилок и лопат. Песок, носилки и лопаты должны храниться на четырехосной платформе с деревянными бортами. Место отстоя платформы устанавливается ТРА участковой или сортировочной станции. Платформа должна подаваться к месту обвалования при проливе ЛВЖ на безопасном расстоянии. Вывод подвижного состава, находящегося за пределами зоны загазованности, с территории станции должен производиться немедленно на расстояние не менее 250 м от места аварии.

7.5. Рекомендации при проектировании объектов железнодорожного транспорта

7.5.1. При проведении расчетов опасных зон в аварийных ситуациях, связанных с перевозкой СУГ и ЛВЖ, необходимо учитывать параметры цистерн, которые приводятся в справочном пособии «Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов». М. Издательство стандартов, 1993.

Номенклатура углеводородных газов включает более двадцати наименований продуктов, которые существенно различаются по химическим и физическим свойствам. Для наиболее распространенных СУГ, перевозимых в специализированных цистернах, в приложении 13 Руководства приведены их основные физико-химические и пожароопасные характеристики.

Котлы этих цистерн рассчитаны на рабочее давление 2 МПа и при резком повышении температуры от воздействия внешних источников тепла пожара способны разрушаться.

При мгновенной разгерметизации цистерны и проливе всего количества СУГ масса паров в облаке M_p рассчитывается по формулам (3.3) и (3.5), а при длительном истечении из пробоины – по формуле (3.6).

7.5.2. При проектировании новых сортировочных станций в части их размещения за пределами городов, согласно СТН Ц-01-95, необходимо учитывать расчетные данные настоящего Руководства, изложенные в разделе 5.3.

В указанном разделе приводятся безопасные расстояния для каждого опасного фактора пожара (взрыва), из которых выбираются их максимальные значения.

Затем составляется таблица максимальных безопасных расстояний и на основе анализа данных таблицы устанавливается максимальное безопасное расстояние от периметра конкретной станции до ближайших зданий и сооружений городской застройки, с учетом безопасных расстояний для людей (населения селитебной части, персонала промышленных и других зданий).

Допускается принимать максимальное безопасное расстояние от периметра сортировочных станций до городской застройки при обращении цистерн с СУГ $R\delta = 1500$ и цистерн с ЛВЖ $R\delta = 1000$ м.

Зоны химического заражения при определении безопасных расстояний от периметра станций до городской застройки не нормируются, учитывая значительные масштабы распространения облаков АХОВ с поражающими концентрациями при наиболее неблагоприятной метеорологической обстановке (инверсии).

Учитывая большую опасность чрезвычайных ситуаций, связанных с химическим заражением местности, необходимо совместно с соответствующими территориальными органами Управления по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций предусматривать разработку и внедрение организационно-технических мероприятий, обеспечивающих своевременное оповещение и эвакуацию населения за пределы зоны химического заражения.

7.5.3. При проектировании специальных путей (аварийного участка станции) согласно п.7.4.3 настоящего Руководства, на которые следует направлять поврежденный подвижной состав с опасными грузами для проведения мероприятий, указанных в аварийных карточках, на сортировочных (участковых и грузовых) станциях необходимо предусматривать подъезд к аварийной площадке по специальному обходному или угловому соединительному пути с примыканием к путям сортировочного (грузового, участкового) парка, обеспечивающим эвакуацию аварийного подвижного состава в минимальное время.

Минимальное безопасное расстояние от аварийной площадки до путей сортировочного парка и сортировочных устройств должно быть не менее $R_{\delta} = 250$ м, при условии обеспечения указанной площадки установками пожаротушения и охлаждения цистерн и другими устройствами, предусмотренными п.7.4.3 настоящего Руководства.

Проектирование аварийного участка осуществляется специальными проектными организациями по заданию управления дороги, при наличии финансирования для проектирования и строительства необходимых сооружений.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ТЕПЛОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Таблица П.1.1

Классификация термических поражений от степени тяжести
в зависимости от размеров обожженной площади S

Степень тяжести	Характеристика
I	Ожоги II-IIIА степеней при $S < 10\%$
II	Ожоги II-IIIА степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IIIБ-IV степеней при $S < 10\%$
III	Ожоги II-IIIА степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IIIБ-IV степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IV степени при $S > 30\%$
IV	Ожоги IIIБ-IV степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IV степени при $S > 30\%$

Таблица П.1.2

Оценка исходов у пострадавшего при термическом поражении, %

Степень тяжести поражения	гибель	инвалидность	годность к труду
I	-	-	100
II	10	20	70
III	60	35	5
IV	100	-	-

Таблица П.1.3

Вероятность смертельного поражения в зависимости от полученного
индекса дозы излучения при огненных шарах

Доля получивших смертельное поражение	Индекс дозы, I
0,1	10^7
0,5	$2,3 \cdot 10^7$
0,99	$6,5 \cdot 10^7$

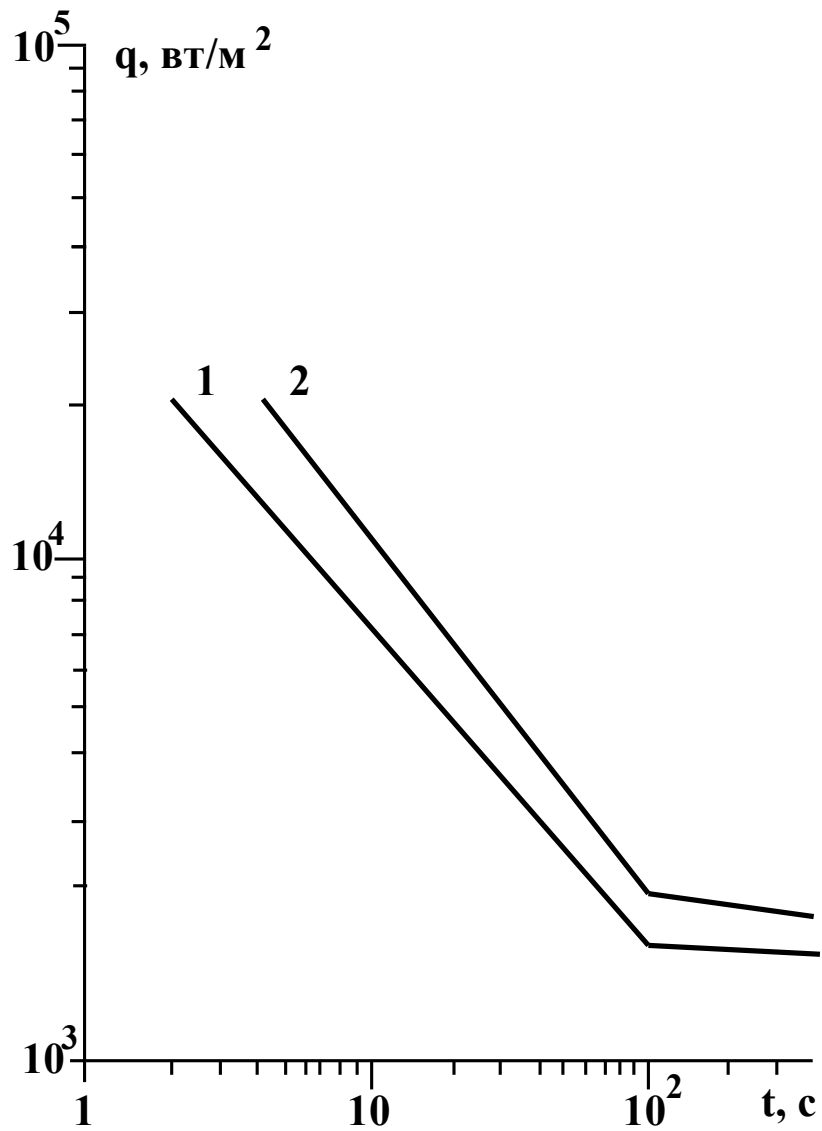


Рис. П.1.1. Оценка воздействия теплового излучения (q) на незащищенные участки кожи человека от времени t .

- 1 – ожоги 1-й степени;
- 2 – ожоги 2-й и выше степени.

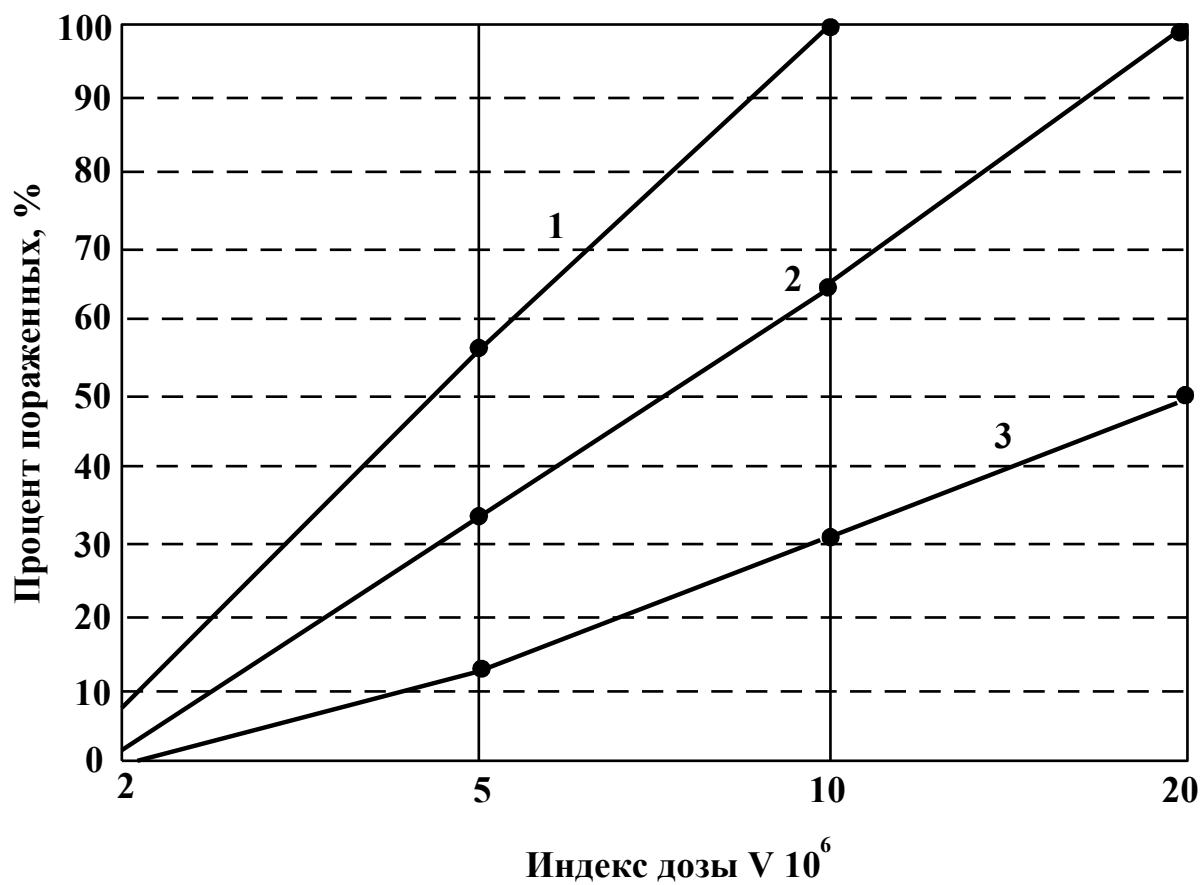


Рис. П.1.2. Зависимость процента пораженных от индекса дозы теплового излучения:
 1 – ожоги 1-й степени;
 2 – ожоги 2-й степени;
 3 – смертельные поражения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2**ДОПУСТИМОЕ ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ
В ЗОНАХ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРОВ**

Плотность теплового потока, кВт/м ²	Допустимое время пребывания людей, мин.	Требуемая защита	Степень теплового воздействия без средств защиты
3,0	Не ограничивается	Без защиты	Болевые ощущения отсутствуют
4,2	Не ограничивается	В боевой одежде и касках	Переносимая боль через 20 с
7,0	5	То же	Непереносимая боль мгновенно
8,5	5	В боевой одежде, смоченной водой, каске	Ожоги через 20 с
10,5	5	То же, но под защитой струй	Мгновенные ожоги
14,0	5	В теплоотражательных костюмах под защитой струй	Мгновенные ожоги
85,0	1	То же, со средствами защиты	Мгновенные ожоги

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Таблица П.3.1

Классификация опасных зон разрушений

Класс зоны	Коэффициент, K_1	ΔP , кПа	Степень разрушения зданий и сооружений
1	3,8	>100	Полное разрушение
2	5,6	53	Сильное разрушение, 50% полного разрушения
3	9,6	28	Среднее повреждение, разрушение без обрушения. Резервуары нефтепродуктов разрушаются
4	28	12	Умеренное разрушение, повреждения внутренних перегородок, рам, дверей
5	56	3	Малые повреждения, разбито не более 10% остекления

Таблица П.3.2

Избыточное давление и поражение человека

Уровень поражения	ΔP , кПа
Безусловное смертельное поражение	500
Летальный исход, 50% случаев	350
Порог смертельного поражения	200
Тяжелая степень поражения	100
Порог поражения человека	3

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА СГОРАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица П.4.1

Критическая интенсивность облучения для твердых веществ

Материал	Критическая интенсивность облучения при различной продолжительности облучения в мин., кВт/м ²		
	3	5	15
Древесина	18,8	16,9	13,9
Древесностружечная плита	13,9	11,9	8,3
Торф брикетный	31,5	24,4	13,2
Торф кусковой	16,6	14,3	9,8
Хлопок-волокно	11,0	9,7	7,5
Слоистый пластик	21,6	19,1	15,4
Стеклопластик	19,4	18,6	15,3
Пергамин	22	19,7	17,4
Резина	22,6	19,2	14,8
Уголь	-	35	45

Таблица П.4.2

Воздействие теплового излучения на горючие материалы

Излучение, кВт/м ²	Металл	Древесина	Ткань, резина
7		нет	
8,5 – 9	Разложение, вспучивание краски	Начало разложения	Начало обугливания
10,5 – 13,5	Обгорание краски через 2 мин	Интенсивное обугливание через 5 мин	Интенсивное обугливание через 4 мин
14 – 16	То же, через 1 мин	Загорание через 5 мин	Загорание через 1 мин
85	То же, через 3 – 5 сек	Загорание через 3 – 5 сек	Загорание через 3 – 5 сек

**ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ПОВЕРХНОСТИ ФАКЕЛА ПОЖАРОВ**

Вещество	КВт/м ²
Ацетон	80
Бензин	130
Дизельное топливо	60
Древесина	114
Гексан	165
Метанол	35
Метилацетат	50
Винилацетат	60
Аммиак	30
Керосин	90
Нефть	70
Мазут	60
СУГ	150 – 200

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

**РАСЧЕТНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОЦЕНОК
ЗОН ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ**

Таблица П.6.1

Скорость переноса переднего фронта облака АХОВ
в зависимости от скорости ветра, м/с

Скорость, ветра, м/с	Инверсия		Изотермия		Конвекция	
	х < 10 км	х > 10	х < 10 км	х > 10	х < 10 км	х > 10
1	2	2,2	1,5	2	1,5	1,8
2	4	4,5	3	4	3	3,5
3	6	7	4,5	6	4,5	5
4	-	-	6	8	-	-
5	-	-	7,5	10	-	-
6	-	-	9	12	-	-

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Инверсия и конвенция при скорости ветра более 3 м/с наблюдается в редких случаях.

2. х – расстояние от места аварии.

Таблица П.6.2

Значение коэффициента К4 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
К4	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

Таблица п.6.3

Характеристики АХОВ, допущенных
к перевозкам по железным дорогам и значения коэффициентов

Наименование АХАВ	Плотность, т/м ³		Температура кипения	Пороговая токсодоза, мг мин/л	К1	К2	К3	К7				
	газ	жид-кость						-40 ⁰ С	-20 ⁰ С	0 ⁰ С	20 ⁰ С	40 ⁰ С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Акролеин	-	0,339	52,7	0,2*	0	0,013	0,75	0,1	0,2	0,4	1	2,2
Аммиак:												
под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
изотерм хр-ние	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0/0,9	1/1	1/1	1/1	1/1
Ацетонитрол	-	0,786	81,6	21,6**	0	0,004	0,028	0,02	0,1	0,3	1	2,6
Ацетонциангидрин	-	0,932	120	1,9*	0	0,002	0,316	0	0	0,3	1	1,5
Водород хлористый	0,0016	1,191	85,10	2	0,23	0,27	0,30	0,6/1	0,6/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Диметиламин	0,0020	0,680	6,9	1,2*	0,06	0,041	0,5	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,5/1
Метил бромистый	-	1,732	3,6	1,2*	0,04	0,039	0,5	0/0,4	0/0,4	0/0,	1/1	2,3/1
Метил хлористый	0,0023	0,983	-23,79	10,8**	0,125	0,044	0,056	0/0,5	0,1/1	0,6/1	1/1	1,5/1
Метилакрилат	-	0,953	80,2	6*	0	0,005	0,025	0,1	0,2	0,4	1	3,1
Нитрил акриловой кислоты	-	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4

Продолжение таблицы П.6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Окись этилена	-	0,882	10,7	2,2**	0,05	0,041	0,27	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	3,2/1
Сероводород	0,0015	0,968	-60,35	16,1	0,27	0,42	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Сероуглерод	-	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Соляная кислота (концентрированная)	-	1,198	-	2	0	0,021	0,3	0	0,1	0,3	1	1,6
Триметиламин	-	0,681	2,9	6*	0,07	0,047	0,1	0/0,1	0/0,4	0/0,9	1/1	2,2/1
Формальдегид	-	0,915	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0/0,4	0/1	0,5/1	1/1	1,5/1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1
Фосфор треххлористый	-	1,570	75,3	3	0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Хлор	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
Этилмеркаптан	-	0,839	35,0	2,2*	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Плотность газообразных АХОВ в графе 2 приведены для атмосферного давления; при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности газообразных АХОВ определяются путем умножения данных графы 2 на значения давления в кгс/кв.см.

2. В графе 9 – 13 в числителе значения К7 для первичного, а в знаменателе – для вторичного облака

3. В графе 5 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно расчетом по соотношению:

$$\text{Ток} = 240 \cdot k \cdot \text{ПДК}_{р.з}$$

где Ток – токсодоза, мг/мин/л; ПДК_{р.з} – ПДК рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88, мг/л;

k = 5 – для раздражающих ядов (помечены одной звездочкой *),

k = 9 – для всех прочих ядов (помечены двумя звездочками **).

4. Значение К1 для изотермического хранения аммиака приведено для случая разливов (выбросов) в поддон.

Таблица ПЗ.4

Глубины зон возможного заражения АХОВ, км

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300	500	1000
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	166	231	363
2	0,26	0,39	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121	189
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,35	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	130
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	101
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	83,60
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	71,7
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	63,16
8	0,13	0,3	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,2	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	56,70

**РАЗМЕРЫ ЗОН ЗАГАЗОВАННОСТИ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАСХОДАХ ГАЗА И СКОРОСТИ ВЕТРА**

Таблица П.7.1

Глубина зоны загазованности при различных расходах газа
и скорости ветра

Расход газа, кг/с	Скорость ветра, м/с			
	0,5	1,0	5,0	10
Глубина зоны загазованности, м				
0,5	40	30	10	10
1	55	40	20	15
2	75	55	25	17
3	100	70	30	20
4	120	80	35	25
5	130	90	40	28
6	140	100	45	30
7	150	110	48	34
8	160	120	50	37
9	170	125	53	39
10	180	130	55	40
12	200	150	65	46
14	210	160	69	49
16	230	170	72	51
18	250	180	76	53
20	260	180	80	55

Таблица П.7.2

Зависимость интенсивности истечения СУГ G (кг/с) от площади отверстия S (см²).
Утечка парогазовой фазы (пробоина сверху)

$S,$ см ²	0,3	5,5	1	2	3	5	10	25
$G,$ (кг/с)	0,04	0,06	0,12	0,02	0,30	0,06	1,2	3,5

Таблица П.7.3

Зависимость интенсивности истечения СУГ G (кг/с) от площади отверстия S (см²).
Истечение жидкой фазы (пробоина снизу)

S, см ²	0,3	0,5	1	2	3	5	10	25
G, (кг/с)	0,28	0,45	0,9	1,8	2,7	4,5	9	23

Таблица П.7.4

Зависимость времени истечения (горения факела) СУГ из цистерны
от площади отверстия.
Истечение парогазовой фазы (пробоина сверху)

S, см ²	0,3	0,5	1	2	3	5	10	25
t, час	200	120	60	32	20	15	8	5

Таблица П.7.5

Зависимость времени истечения СУГ
из цистерны от площади отверстия (истечение жидкой фазы)

S, см ²	0,3	0,5	1	2	3	5	10	25
t, час	27	15	7,5	3,7	2,4	1,5	0,8	0,5

Таблица П.7.6

Избыточное давление взрыва ТВС при различных расстояниях от центра взрыва
при разрушении стандартной цистерны с СУГ объемом 54 м³
и степенью заполнения 85%

R, м	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000
ΔP, кПа	70	40	20	15	10	8	6	5	4	3

Зависимость расхода и времени истечения ЛВЖ из аварийной цистерны
от площади пробоин и универсального сливного устройства

№ № п/п	Полный объем в м ³ и масса ЛВЖ в кг	Диаметр котла D, м	Диаметр пробоины или сливного устройства d, мм	Площадь пробоины или сливного устройства S _о , см ²	Расход ЛВЖ, G, кг/мин	Время истечения, t _{ист} , мин
1	2	3	4	5	6	7
1.	$\frac{61,2}{42000}$	2,8	100	78,5	840	50,0
			150	276	1878	22,4
			200	314	3348	12,5
2.	$\frac{73,1}{49700}$	3,0	100	78,5	864	57,5
			150	176	1944	35,6
			200	314	3468	14,3
3.	$\frac{85,6}{59200}$	3,2	100	78,5	900	64,7
			150	176	2010	29,0
			200	314	3600	16,2
4.	$\frac{140}{95200}$	3,0	100	78,5	864	110,0
			150	176	1944	49,0
			200	314	3468	27,5
5.	$\frac{161,6}{109900}$	3,2	100	78,5	900	122,0
			150	176	2010	54,7
			200	314	3600	30,5

ПРИМЕЧАНИЕ: в графе 2 в числителе показан полный объем цистерны, а в знаменателе – масса ЛВЖ при средней плотности 800 кг/м³ и степени заполнения цистерны 85%.

ГРАНИЦЫ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВАХ ОБЛАКОВ ТВС

На рис. П.8.1 представлены зависимости избыточного давления ударной волны ΔP (кПа) при взрыве тепловоздушной смеси СУГ от расстояния R (м) при следующих сценариях аварий:

Кривая 1. Авария при наливе и сливе СУГ (разгерметизация трубопровода и истечение СУГ).

Кривая 2. Авария на железнодорожной станции (столкновение цистерн, сход с рельсов, срыв углового вентиля, истечение из отверстия в цистерне СУГ).

Кривая 3. Авария при наливе и сливе СУГ и на отстойных или тупиковых путях (разгерметизация углового вентиля цистерны, истечение СУГ).

Прямая 4. Критическое значение избыточного давления ударной волны, превышение которого приводит к поражению (разрушению) транспорта – $\Delta P_1 = 16$ кПа.

Прямая 5. Критическое значение избыточного давления ударной волны, превышение которого приводит к поражению людей – $\Delta P_2 = 3$ кПа.

Прямая 6. Критическое значение избыточного давления ударной волны, превышение которого приводит к поражению (разрушению) зданий – $\Delta P_1 = 20$ кПа.

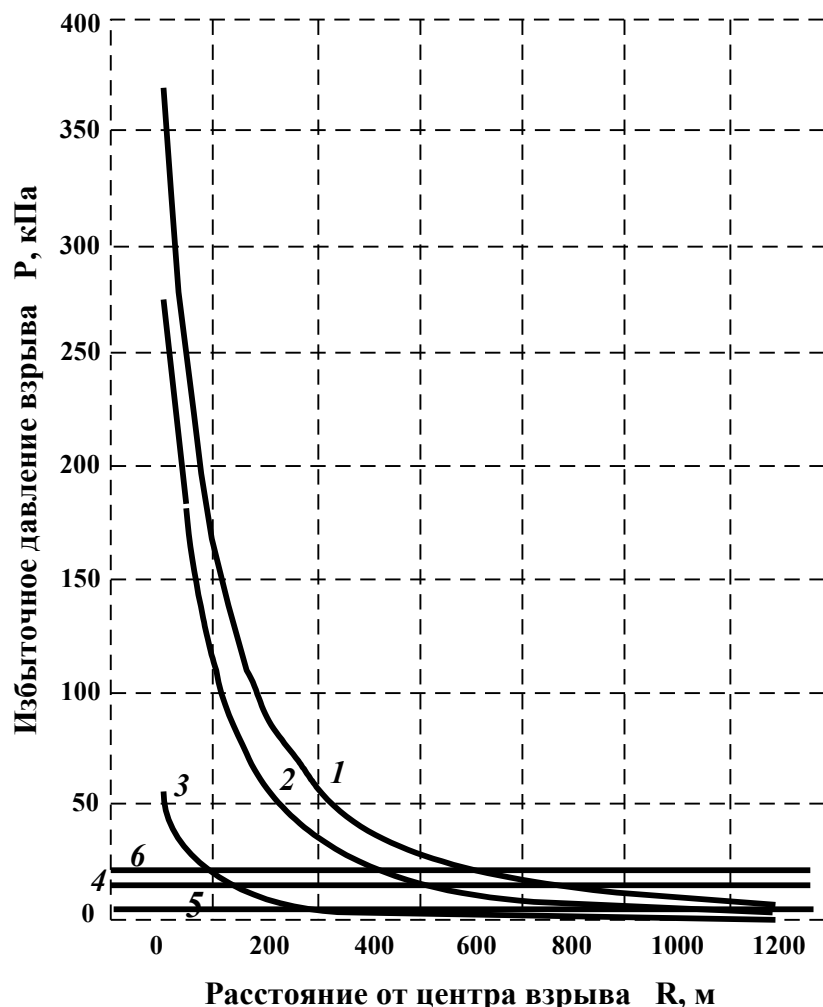


Рис. П.8.1. Зависимость избыточного давления взрыва ТВС от расстояния при различных сценариях аварии.

**ПЛОТНОСТЬ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЖАРОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ**

Таблица П.9.1

Значения плотности теплового излучения (кВт/м²) пожаров проливов СУГ от массы пролитого продукта и расстояния от границы пролива (факела)

Расстояние, м	Масса пролитого продукта, т				
	10	20	30	40	50
10	40	60	70	80	90
20	22	32	35	45	50
30	12	18	20	30	35
40	8	10	12	16	18
50	6	7	8	9	10
60	4	5	6	7	8
80	2	3	4	5	6
100	-	-	2	3	3

Таблица П.9.2

Значения плотности теплового излучения (кВт/м²) пожаров проливов ЛВЖ от массы пролитого продукта и расстояния от границы пролива (факела)

Расстояние, м	Масса пролитого продукта, т				
	10	20	30	40	50
10	25	35	40	50	55
20	15	20	22	30	35
30	8	10	12	13	14
40	5	6	7	8	9
50	4	5	6	7	8
60	3	4	4	5	5
80	-	2	3	3	3
100	-	-	1	1	2

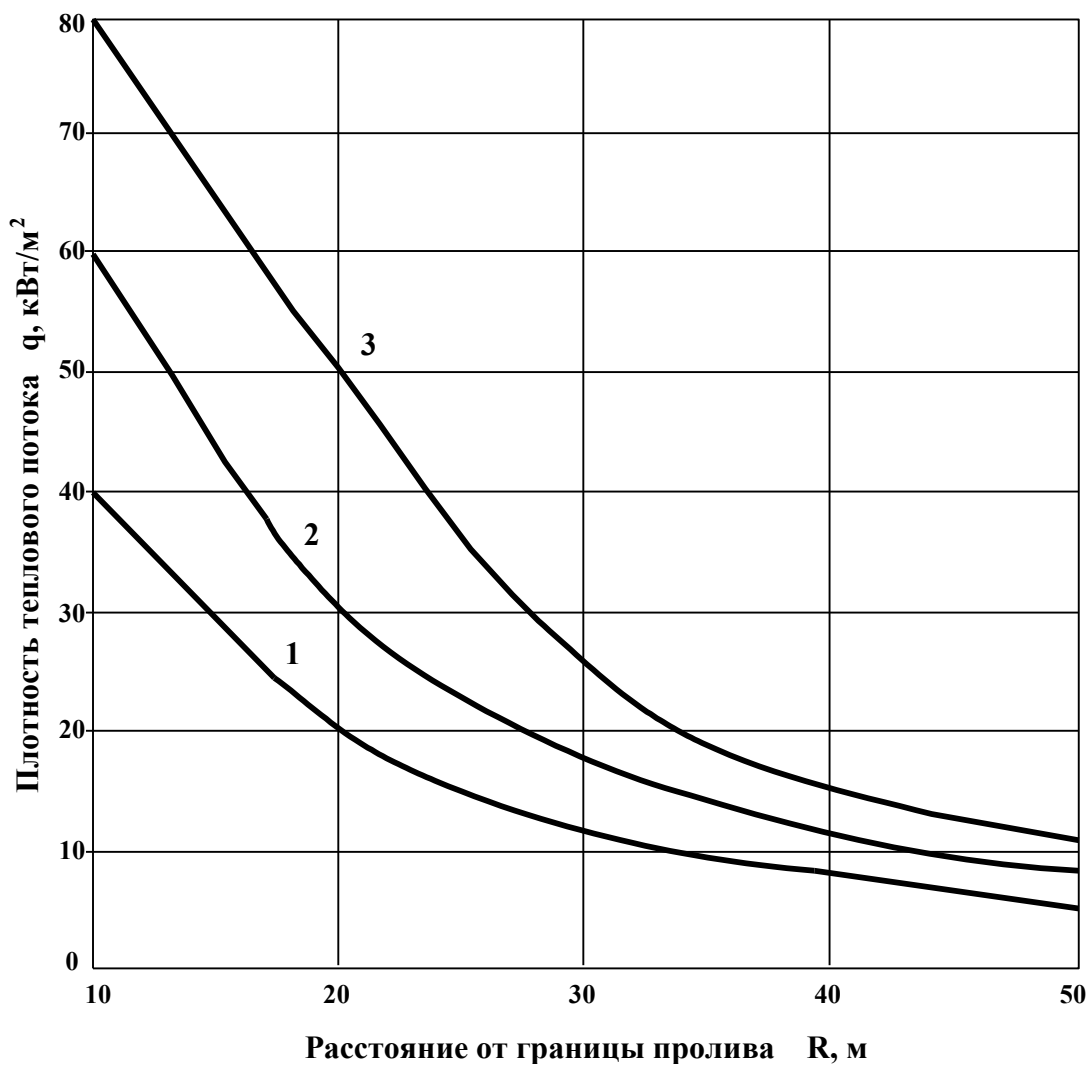


Рис. П.9.1. Зависимость плотности теплового потока пожаров проливов СУГ от расстояния от границы пролива:
 1 – пролив 10т;
 2 – пролив 20т;
 3 – пролив 40т.

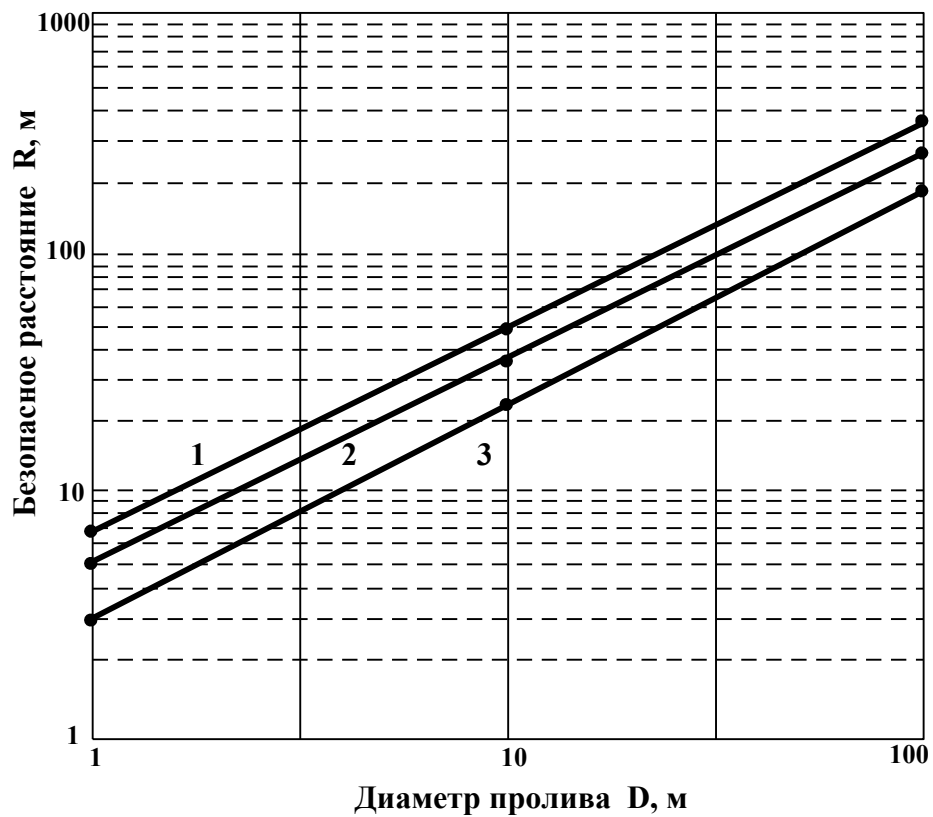


Рис. П.9.2. Зависимость размеров безопасных расстояний при пожарах СУГ от диаметра пролива:
 1 – для незащищенных участков кожи;
 2 – для пожарных в боевой одежде;
 3 – для пожарных автомобилей.

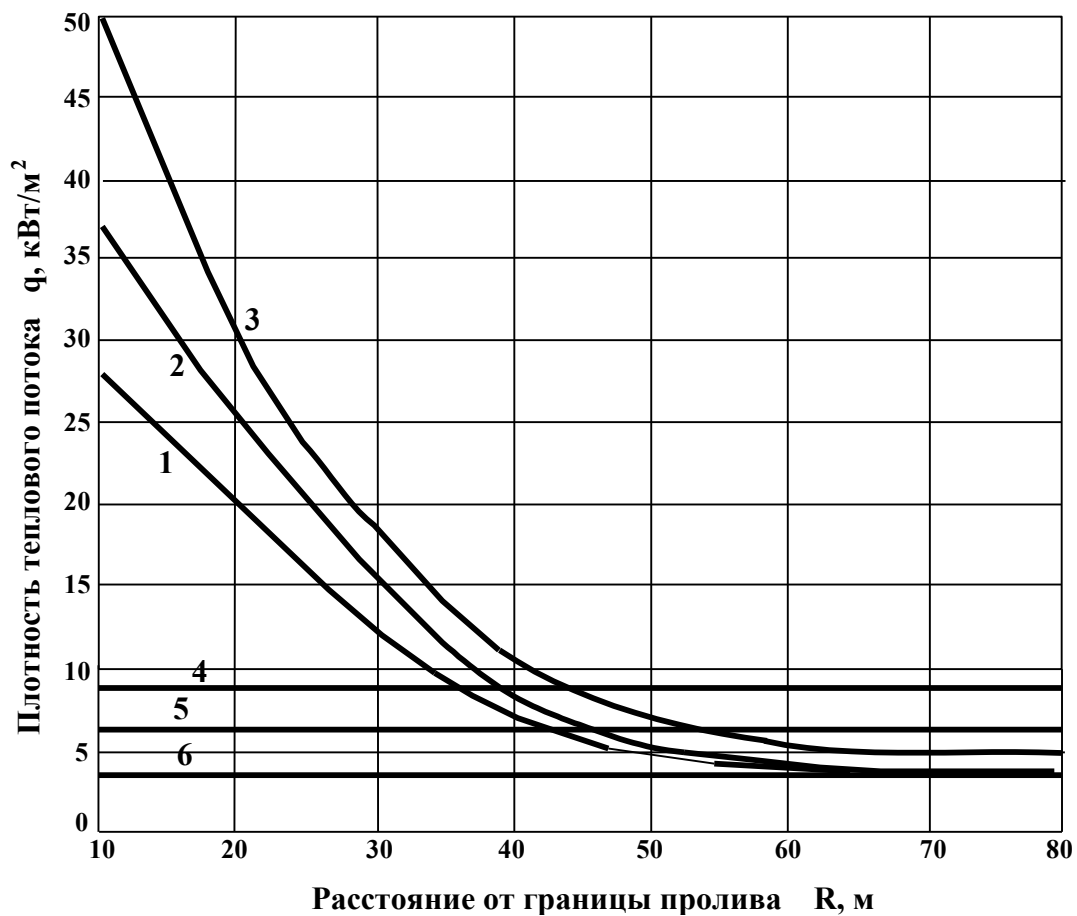


Рис. П.9.3. Зависимость плотности теплового потока пожаров проливов ЛЖВ от расстояния от границы пролива:

- 1 – пролив 10т;
- 2 – пролив 20т;
- 3 – пролив 40т;
- 4, 5, 6 – критические значения теплового потока для техники, людей в защитной одежде и участков кожи соответственно.

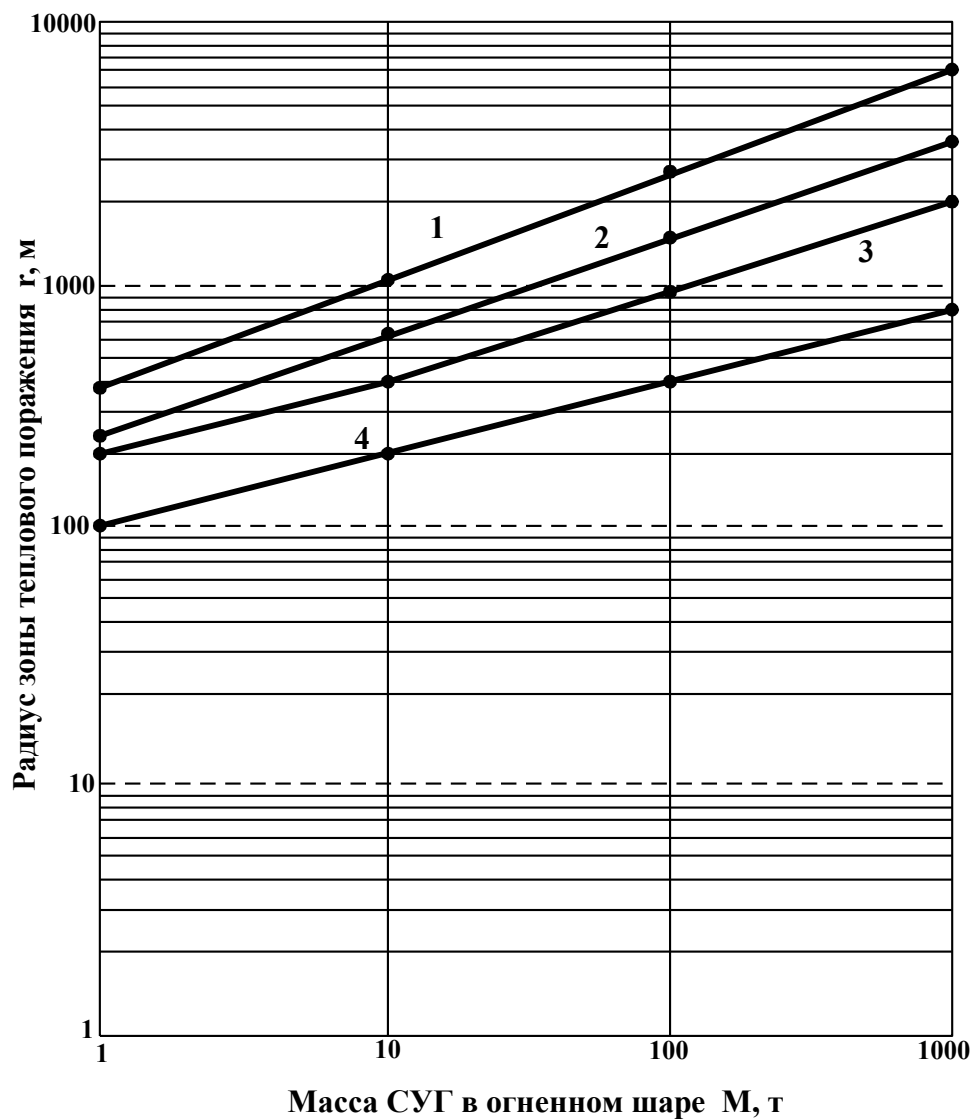


Рис. П.9.4. Зависимость размеров зон теплового поражения от массы СУГ в огненном шаре.
 1 – максимальное расстояние при ожогах 2-й степени;
 2 – вероятное расстояние при ожогах 2-й степени;
 3 – максимальное расстояние при ожогах 3-й степени;
 4 – вероятное расстояние при ожогах 3-й степени.

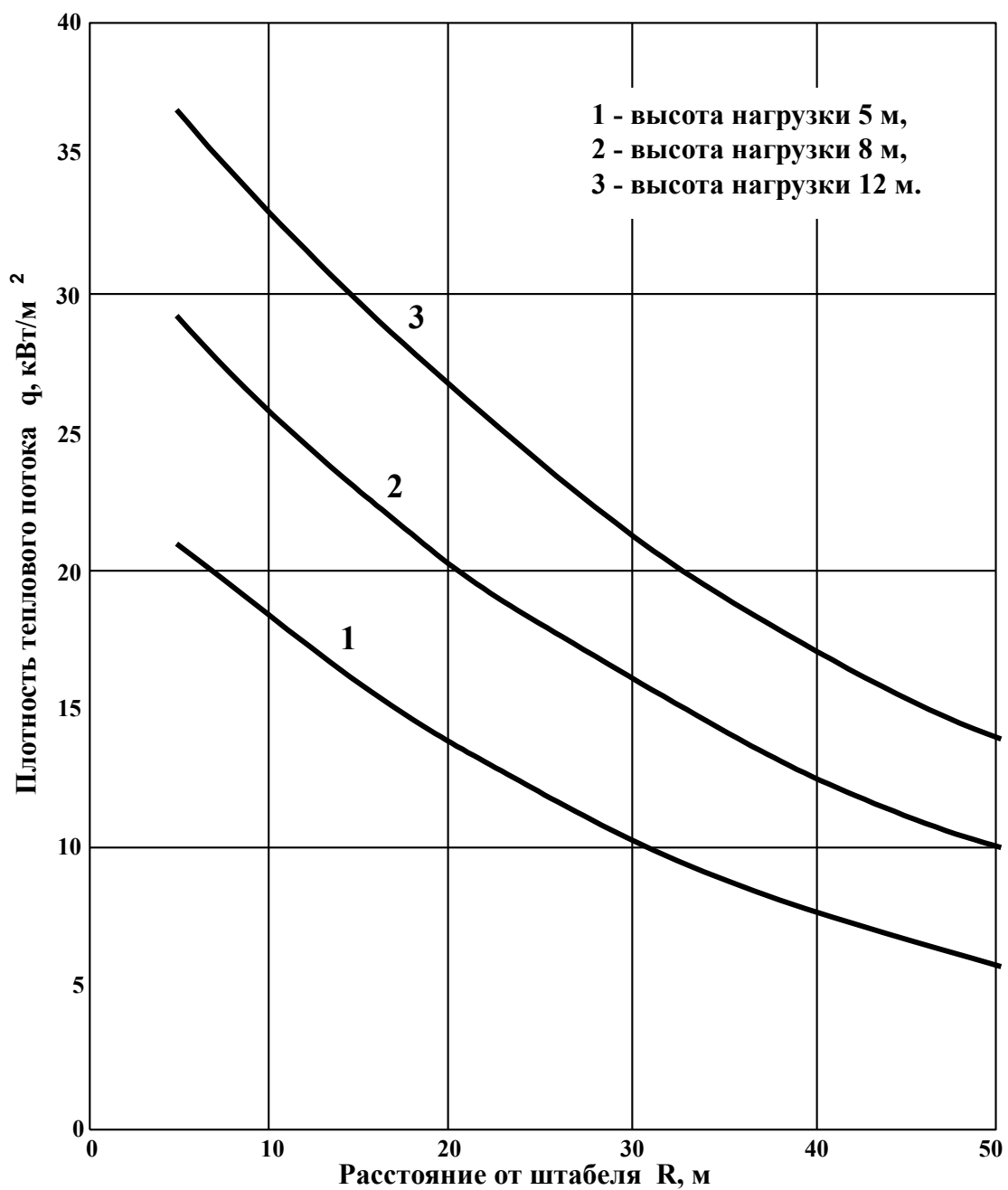


Рис. П.9.5. Зависимость плотности теплового потока q при горении древесины от расстояния штабеля R .

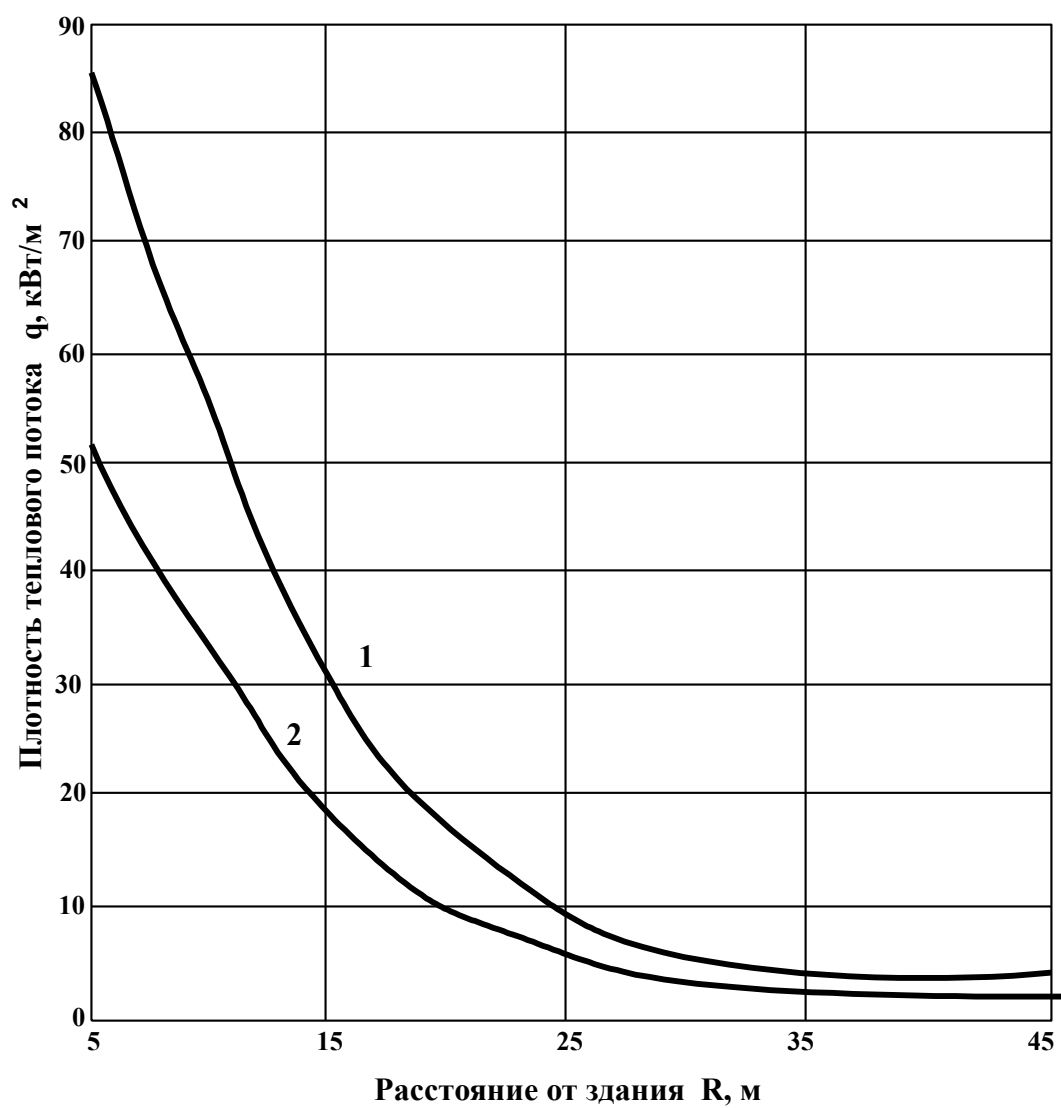


Рис. П.9.6. Зависимость плотности теплового потока при горении зданий от расстояния:
 1 – здания 1-3 степени огнестойкости;
 2 – здания 4-5 степени огнестойкости.

ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕНОСА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЧАСТИЦ (ИСКР)

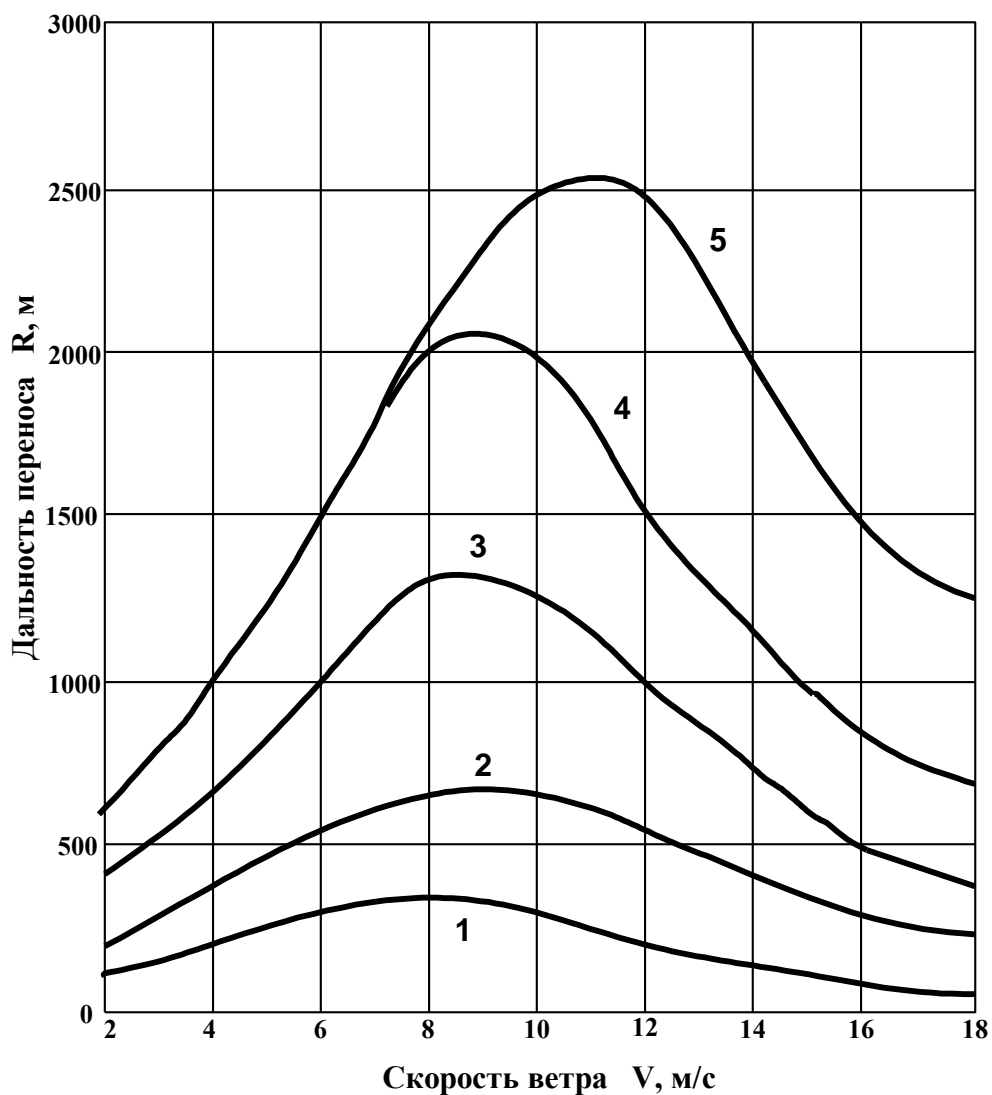


Рис. П.10.1. Дальность переноса высокотемпературных частиц в зависимости от скорости ветра и площади пожара:

- 1 – площадь пожара 0,3 га;
- 2 – 0,8 га;
- 3 – 1,5 га;
- 4 – 2,5 га;
- 5 – 4,5 га.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЖАРОВ ТГМ

Наименование	Массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·мин)	Линейная скорость распространения, м/мин	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Критическая плотность теплового потока, кВт/ м ²
1	2	3	4	5
Бумага	0,64	0,5-1	13,4	12-18
Книги	0,25	0,5-1	13,4	15
Кожа	0,35	0,9	21	20
Волокно штапельное	0,4	0,8	14	20-30
Войлок строительный	0,2	0,7	19	
Древесина сосновая	0,9	1-2	14	21
Древесноволокнистая плита (ДВП)	0,8	1,7	21	25
ДСП	0,4	1,5	18	
Бумажно-слоистый пластик	0,5-0,8	1,5-2	18	80
Карболитовые изделия	0,2-0,4		26	
Каучук натуральный	1	1,1	42	45
Каучук синтетический	0,7	1	40	35
Картон	0,4	0,5-1	15	15-18
Кинопленка	0,5		19	10
Линолеум	0,6		18-27	70
Лен разрыхленный	1,3	3	16	
Резина пористая	0,4	1	17	50
Оргстекло	0,9	0,5	25	
Обтирочный материал	1,3	2,5	15,7	75
Плита столярная	0,5	1,2	20	45
Пенополиуретан	0,17	3	24	

1	2	3	4	5
Пенополистирол (плиты)	0,9		41	28
Резина	0,6		33	23
Стеклопластик	0,9		11	19,4
Ткань хлопковая, навал	0,3	0,36	17	75
Ткань шерстяная	0,15		23	60-70
Ткани (холст, бязь, байка)		0,8-1,8		
Фанера	0,8-1		22	40-50
Резиновая и ПВХ изоляция	0,75		37	

**НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ И ПЛОТНОСТЬ ГОРЮЧИХ
МАТЕРИАЛОВ, ОБРАЩАЮЩИХСЯ НА ОБЪЕКТАХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Наименование веществ и материалов	Низшая теплота сгорания, МДж · кг ⁻¹	Плотность, кг · м ⁻³
1. Ацетон	29	790/5
2. Бензин	41,6	722...751
3. Бензол	40,9	879
4. Бутиловый спирт	41,9	809,9
5. Дизельное топливо	43	831...921
6. Керосин	43/54	810...840
7. Ксилол	40,8	880,2
8. Мазут	39,8	925
9. Масло индустриальное	42	903...917
10. Масло трансформаторное	42	879
11. Масло турбинное	41,87	900
12. Метиловый спирт	22,7	791,5
13. Нефть	41,9	840...916
14. Соляровое масло	42	900
15. Толуол	41	867
16. Уайт-спирт	43,62	776
17. Этиловый спирт	27,2	780,9

ПРИМЕЧАНИЕ: для ЛВЖ и ГЖ допускается принимать теплоту сгорания, равную $42 \cdot 10^{-3}$ МДж · кг⁻¹ и плотность 800 кг · м⁻³.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ СУГ

Название вещества	Формула	Плотность жидкой фазы, $\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot 10^{-3}$	Плотность газовой фазы, $\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot 10^{-3}$	Температура кипения, $^{\circ}\text{C}$	Удельная низшая теплота сгорания $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$	Нижний концентрационный предел распространения пламени, % об	Температура самовоспламенения, $^{\circ}\text{C}$	Радиус взрывоопасных зон при $t_p = 28^{\circ}\text{C}$	Молярная масса, $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$
Пропан	C_3H_8	0,52	1,78	-4,1	46,3	2,0	470	238	55
н-Бутан	C_4H_{10}	0,60	2,35	-0,5	47,3	1,8	405	194	58
Изобутан	C_4H_{10}	0,58	2,35	-11,7	47,2	1,8	462	195	58
Пропилен	C_3H_6	0,60	1,78	-47,7	46,0	2,4	455	238	44
Изопентан	C_5H_{12}	0,62	2,9	-27,7	45,2	1,4	432	206	72
н-Пентан	C_5H_{12}	0,65	2,9	36,1	45,4	1,4	296	195	72
н-Бутилен	C_4H_8	0,65	2,27	-6,3	45,5	1,6	384	210	56
Изобутилен	C_4H_8	0,65	2,27	3,7	45,5	1,8	465	210	56
Бутадиен	C_3H_6	0,65	2,18	-4,5	60,0	2,0	430	210	54
Изопрен	C_5H_8	0,68	2,9	34,1	43,9	1,7	400	213	-
Амилен	C_5H_{10}	0,64	2,9	30,0	45,0	1,5	273	208	-

ПРИМЕЧАНИЕ: радиус взрывоопасных зон рассчитан по формуле (3.3) настоящего Руководства при разгерметизации стандартной цистерны емкостью 54 м^3 и проливе всей массы СУГ, находящейся в цистерне.

ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ (ЛВЖ и ГЖ)

№ № п п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг/моль	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана °С	Нижний концентрационный предел пламени С _{нкрп} , %	Характеристики вещества	Теплота сгорания, кДж·кг ⁻¹
						А	В	С				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Амилацетат	C ₇ H ₁₄ O ₂	130,196	+43	+290	7,16870	1579,365	221,365	25+147	1,08	ЛВЖ	34702
2	Амиловый спирт	C ₅ H ₁₂ O	89,149	+48	+300	7,18246	1287,625	161,330	74+157	1,48	ЛВЖ	
3	Ацетальдегид	C ₂ H ₄ O	44,053	-40	+172	7,19160	1093,537	233,413	-80+20	4,12	ГЖ	28470
4	Ацетон	C ₃ H ₈ O	50,080	-18	+535	7,25058	1281,721	237,088	-15+93	2,91	ЛВЖ	
5	Бензол	C ₈ H ₆	78,113	-11	+534	6,48898	902,275	178,099	-20+6	1,43	ЛВЖ	38519
						6,98426	1252,776	225,178	-7+80			
6	Н-бутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,160	+29	+330	7,00641	1340,743	199,757	0+100	1,43	ЛВЖ	33000
7	Н-бутиловый спирт	C ₄ H ₁₀ O	74/122	+35	+345	9, 59730	2664,684	279,638	-1+126	1,81	ЛВЖ	
8	Бутилацетат (вторичный)	C ₈ H ₁₂ O ₂	116,160	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛВЖ	
9	Бензиловый спирт	C ₇ H ₈ O	108,130	+90	+400	7,93428	2130,42	218,0	20+112	1,3	ГЖ	
						7,58200	1904,3	200,0	112+300			
10	Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄	226,445	+128	+207	6,78749	1656,405	136,869	105+287	0,473	ГЖ	44800
11	Гексан	C ₆ H ₁₄	86,177	-23	+234	6,87024	1166,274	223,661	-54-69	1,242	ЛВЖ	
12	Н-гексиловый спирт	C ₆ H ₁₄ O	102,176	+60	+285	7,27800	1420,273	165,469	56+157	1,23	ГЖ	
13	Гептан	C ₇ H ₁₆	100,203	-4	+223	6,95154	1295,405	219,819	-60+98	1,074	ЛВЖ	44900
14	Глицерин	C ₃ H ₈ O ₃	92,094	+198	+400	9,05260	3074,220	214,712	141+263	2,6	ГЖ	16124

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	Декан	C ₁₀ H ₂₂	142,284	+47	+230	7,39530	1809,975	227,700	17+174	0,760	ЛВЖ	44400
16	Дивиниловый эфир	C ₄ H ₆ O	70,091	-30	-360	6,98810	1055,259	228,589	-40+60	1,7	ЛВЖ	
17	Диметил-формамид	C ₃ H ₇ N	73,094	+53	+440	7,03446	1482985	204,342	25+153	2,35	ЛВЖ	
18	Диоксан-1,4	C ₄ H ₈ O ₂	88,106	+11	+375	7,51611	1632425	250,725	12+101	2,0	ЛВЖ	
19	1,2-дихлорэтан	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,960	+9	+413	7,65135	1640179	259,715	-24+83	6,2	ЛВЖ	11000
20	Диэтиламин	C ₄ H ₁₁ N	73,138	-14	+310	7,22314	1267,557	236,329	-33+59	1,77	ЛВЖ	
21	Диэтиловый эфир	C ₄ H ₁₀ O	74,122	-41	+180	6,99790	1098,945	232,372	-60+35	1,7	ЛВЖ	33900
22	Изобутиловый спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,122	+28	+364	8,70512	2058,392	245,642	-9+116	1,81	ЛВЖ	33000
23	Изопентал	C ₅ H ₁₂	72,150	-52	+432	6,79306	1022,551	233,493	-83+28	1,36	ЛВЖ	45200
24	Изопропил-бензол	C ₉ H ₁₂	120,194	+36	+424	6,93773	1460,668	207,652	3+153	0,93	ЛВЖ	
25	Изопропиловый спирт	C ₃ H ₈ O	60,096	+14	+430	8,38562	1733,00	232,380	-26+148	2,23	ЛВЖ	30000
26	М-ксилол	C ₈ H ₁₀	106,167	+28	+530	6,58807	1906,796	234,917	20,7+181	1,1	ЛВЖ	40872
27	О-ксилол	C ₈ H ₁₀	106,167	+31	+464	6,28893	1575,114	223,579	-3,8+144,4	1,00	ЛВЖ	40872
28	п-ксилол	C ₈ H ₁₀	106,167	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	-8,1+138,3	1,1	ЛВЖ	40872
29	Метиловый спирт	CH ₄ O	32,042	+6	+436	8,22777	1660,454	245,818	-10+90	6,98	ЛВЖ	19500
30	Толуол	C ₇ H ₈	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	-6,7+110,6	1,27	ЛВЖ	41031
31	Трихлопэтилен	C ₂ HCl ₃	131,4	+36	+380	7,02808	1315,0	230,0	7+155	12	ТГ	
32	Уксусная кислота	C _{3,7} H _{7,4} O _{3,7}	111,097	+38	-	7,79845	1789,908	245,908	155+293 0+118	3,33	ЛВЖ	
33	Хлорбензол	C ₆ H ₅ Cl	112,558	+29	+637	7,26112	1607,316	235,351	-35+132	1,4	ЛВЖ	27130
34	Этилацетат	C ₄ H ₈ O ₂	88,106	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	-15+75,8	2,08	ЛВЖ	
35	Этилбензол	C ₈ H ₁₀	106,167	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	-9,8+136,2	1,03	ЛВЖ	40872
36	Этиловый спирт	C ₂ H ₆ O	46,069	+13	+400	8,68665	1918,508	252,125	-31+78	3,61	ЛВЖ	26900
37	Этилцелло-золье	C ₄ H ₁₀ O ₂	90,122	+40	+215	8,74133	2392,56	273,15	20+135	1,8	ЛВЖ	

ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СМЕСЕЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ (ЛВЖ и ГЖ)

№ № пп	Продукт (ГОСТ, ТУ)	Сум- марная формула	Моля- рная масса, кг/моль	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Темпе- ратура самовос- пламе- нения, °С	Константы уравнения Антуана			Темпера- турный интервал значений констант уравне- ния Антуана °С	Нижний концен- траци- онный предел пламени С _{нкпр} , %	Харак- терис- тики веще- ства
						А	В	С			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C _{7.267} H _{14.769}	102,200	-34	300	8,41944	2629,65	384,195	-40+100	0,92	ЛВЖ
2.	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-77)	C _{8.991} H _{13.108}	97,200	-36	-	5,07020	682,876	222,068	-60+85	1,08	ЛВЖ
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-7)	C _{7.024} H _{13.706}	98,200	-36	-	4,99831	664,976	221,695	-60+95	1,06	ЛВЖ
4.	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-7)	C _{6.911} H _{12.168}	95,300	-37	-	5,14031	695,019	223,220	-60+90	1,1	ЛВЖ
5.	Бензин «Калоша»	-	-	-17	+350	-	-	-	-	1,1	ЛВЖ
6.	Бензин А-66	-	-	-39	+255	-	-	-	-	0,76	ЛВЖ
7.	Бензин А-74	-	-	-36	+300	-	-	-	-	0,79	ЛВЖ
8.	Дизельное топливо «ДЗ» (зимнее) общего назначения (ГОСТ 305-82)	-	-	+53	+240	-	-	-	-	-	ЛВЖ
9.	Дизельное топливо «ДЛ» (летнее) общего назначения (ГОСТ 305-82)	-	-	+40	+330	-	-	-	-	-	ЛВЖ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10.	Дизельное топливо «З» (ГОСТ 305-82) для тепловых дизелей	C _{12.343} H _{23.889}	172,3	+40	-	5,95338	1255,73	199,523	40+210	0,61	ЛВЖ
11.	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-82) для тепловых дизелей	C _{14..511} H _{29.120}	203,6	+61	-	5,87629	1314,04	192,473	60+240	0,52	ЛВЖ
12.	Ксилол (смесь изомеров) (ГОСТ 9510-78)	C _{7..99} H _{9.98}	106,0	+24	+590	7,05479	1478,16	220,535	0+50	1,00	ЛВЖ
13.	Керосин осветительный КО-20	C _{13..596} H _{26.880}	191,7	+40	-	5,69697	1211,73	194,677	40+240	0,55	ЛВЖ
14.	Керосин осветительный КО-22	C _{10..914} H _{21.832}	153,1	+40	-	6,47119	1394,72	204,260	40+190	0,64	ЛВЖ
15.	Керосин осветительный КО-25	C _{11.064} H _{21.752}	154,7	+40	-	6,00016	1223,85	203,341	40+190	0,66	ЛВЖ
16.	Масло промышленное «50»	-	-	+200	+380	-	-	-	-	-	ГЖ
17.	Масло вазелиновое	-	-	+187	+290	-	-	-	-	-	ГЖ
18.	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-76)	C _{21..74} H _{42.88} S _{0.004}	303,9	+150	+270	7,75932	2524,17	174,010	164+343	0,291	ГЖ
19.	Масло турбинное 22	-	-	+184	+400	-	-	-	-	-	ГЖ
20.	Масло ВМ-4	-	-	+212	+400	-	-	-	-	-	ГЖ
21.	Масло цилиндрическое «11»	-	-	+197	+350	-	-	-	-	-	ГЖ
22.	Масло промышленное (веретенное 2)	-	-	+164	+280	-	-	-	-	-	ГЖ
23.	Масло промышленное (веретенное 3)	-	-	+158	+320	-	-	-	-	-	ГЖ
24.	Масло промышленное «машинное С»	-	-	+181	+355	-	-	-	-	-	ГЖ
25.	Масло соляровое	-	-	+142	+360	-	-	-	-	-	ГЖ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
26.	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C _{22.25} H _{33.48} S _{0.34} N _{0.07}	312,9	+170	+290	6,99959	2240,001	167,85	170+376	0,35	ГЖ
27.	Масло АМТ-300Г (ТУ 38-101243-72)	C _{19.04} H _{24.58} S _{0.196} N _{0.04}	260,3	+170	-	6,49540	2023,77	164,09	170+396	0,43	ГЖ
28.	Растворитель РДВ	-	-	+2,0	+424	-	-	-	-	1,83	ЛВЖ
29.	Растворитель 648	-	-	+13	+388	-	-	-	-	1,65	ЛВЖ
30.	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	C _{5.452} H _{7.606} O _{0.535}	81,7	-9	+550	7,17192	1373,667	242,828	-15+100	1,60	ЛВЖ
31.	Растворитель Р-4 (ксилол-15, толуол-70, ацетон-15)	C _{6.231} H _{7.796} O _{0.223}	86,3	-4	+550	7,15373	1415,199	244,752	-15+100	1,38	ЛВЖ
32.	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	C _{5.309} H _{8.655} O _{0.897}	86,3	-9	-	7,17850	1378,851	245,039	-15+100	1,57	ЛВЖ
33.	Растворитель М (н-бутилацетат-30, этилацетат-5, этиловый спирт-60, изобутиловый спирт-5)	C _{2.645} H _{5.810} O _{1.187}	59,4	+6	-	8,93204	2083,566	267,735	0+50	2,85	ЛВЖ
34.	Растворитель РМЛ ТУКУ 467-56 (толуол-10, этиловый спирт-64 н-бутиловый спирт-10, этилцеллозолье- 16)	C _{2.645} H _{5.810} O _{1.038}	55,2	+10	-	9,57161	2487,728	290,920	0+50	2,85	ЛВЖ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
35.	Растворитель РМЛ218 (н-бутилацетат-9, ксилол-21,5, толуол-21,5, этиловый спирт-16 н-бутиловый спирт-3, этилцеллозолье-13, этилацетат-16)	C _{4.791} H _{8.318} O _{0.971}	81,5	+4	-	8,07751	1761,043	251,546	0+50	1,72	ЛВЖ
36.	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	C _{6.837} H _{9.217} O _{0.515}	99,6	+10	-	7,04804	1403,079	221,483	0+100	1,26	ЛВЖ
37.	Растворитель РМЛ-315 (ТУ 6-10-1013-17) (н-бутилацетат-18, ксилол-25, толуол-25, н-бутиловый спирт-15, этилцеллозолье-17)	C _{5.962} H _{9.779} O _{0.645}	95,0	+16	-	7,711160	1699,687	241,00	0+50	2,25	ЛВЖ
38.	Скипидар	-	-	+34	+300	-	-	-	-	0,8	ЛВЖ
39.	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-78)	C _{10.5} H _{21.0}	147,3	+33	+260	8/01130	2218,3	273,15	20+80	0,7	ЛВЖ
40.	Дизельное топливо «А» общего назначения (ГОСТ 305-82)	-	-	+30	-	-	-	-	-	-	ЛВЖ
41.	Дизельное топливо «А» для тепловозных дизелей (ГОСТ 305-82)	-	-	+35	-	-	-	-	-	-	ЛВЖ

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ
НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**16.1. Расчет размеров взрывоопасных зон избыточного давления взрыва ТВС
при авариях с СУГ**

Пример 1

Определить радиус взрывоопасной зоны при аварийной разгерметизации стандартной цистерны емкостью 54 м³ с сжиженным пропаном при получении пробоины площадью S₀ = 25 см² и при мгновенной разгерметизации цистерны (проливе всего количества СУГ).

Исходные данные

Внутренний диаметр цистерны D, м.....	2,6
Расчетная температура воздуха t _р , °С.....	20
Плотность жидкой фазы ρ _ж , т · м ⁻³	0,52
Нижний концентрационный предел распространения пламени С _{нкпр} , % (об).....	2,0
Давление в цистерне P, Па.....	8 · 10 ⁵
Плотность паров СУГ ρ _п , кг · м ⁻³	1,78
Молярная масса M _м , кг · кмоль ⁻¹	44

Решение:

1.1. Масса газа в облаке ТВС при длительном истечении СУГ из цистерны определяется по формуле (3.6):

$$M_p = 36 \cdot 520 \cdot 0,0025 \cdot [2 \cdot (8 \cdot 10^5 - 1,01 \cdot 10^5) / (520 + 1,2 \cdot 9,81 \cdot 2,6)]^{1/2} = 2360 \text{ кг.}$$

1.2. Радиус зоны загазованности при S₀ = 25 см² определяется по формуле (3.1):

$$X_{\text{нкпр}} = 14,6 \cdot (2360 / 1,78 \cdot 2)^{0,33} = 127,4 \text{ м}$$

Аналогичный результат можно получить без расчета по таблицам П.7.2 Приложения 7, где при S₀ = 25 см² расход газа равен G = 3 кг · с⁻¹. При таком расходе газа и скорости ветра 0,5 м/с глубина зоны загазованности составит 100 м.

По упрощенной формуле для оперативных расчетов (3.3) получается приближенный результат:

$$X_{\text{нкпр}} = 92 \cdot 2,36^{0,33} = 120 \text{ м.}$$

1.3. При мгновенной разгерметизации цистерны и степени заполнения цистерны e = 0,9, согласно п.3.1.3 масса паров (M_р) в облаке для низкокипящих СУГ определяется по формуле (3.4):

$$M = 0,9 \cdot 54 \cdot 0,52 = 25 \text{ т;}$$

$$M_p = 0,62 \cdot M = 0,62 \cdot 25 = 15,5 \text{ т.}$$

Радиус взрывоопасной зоны по формуле (3.3) составит:

$$X_{\text{нкпр}} = 92 \cdot M_p^{0,33} = 92 \cdot 15,5^{0,33} = 230 \text{ м.}$$

По формуле (3.1) получается более точный результат:

$$X_{\text{нкр}} = 14,6 \cdot (15500/1,78 \cdot 2)^{0,33} = 238 \text{ м}$$

Для оперативных расчетов результат, полученный по формуле (3.3) практически не отличается от результата расчета по формуле (3.1) и может быть принят за основу при расчетной температуре воздуха $t_p, 28^{\circ}\text{C}$.

В условиях низких температур воздуха плотность паров СУГ растет, а радиус загазованной зоны уменьшается незначительно. Так, например, при $t_p = -40^{\circ}\text{C}$ $\rho_{\text{п}} = 2,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ радиус взрывоопасной зоны $X_{\text{нкр}} = 220 \text{ м}$. Поэтому приведенные выше упрощенные формулы можно использовать для практических расчетов.

Пример 2

Определить радиус зон поражения и величину избыточного давления во фронте ударной волны при взрыве облака ТВС при аварии цистерны с пропаном (исходные данные приведены в Примере 1).

Решение:

2.1. По формулам, приведенным в п.3.1.4 настоящего Руководства определяются границы зон поражения при истечении СУГ из пробоины.

Масса газа в облаке ТВС принимается по п.1.1 Примера 1:

$$M_p = 2360 \text{ кг} = 2,36 \text{ т.}$$

Границы зон поражения людей:

$$\begin{aligned} \text{тяжелые поражения} &- R_1 = 32 \cdot 2,36^{1/3} = 42 \text{ м,} \\ \text{порог поражения} &- R_2 = 360 \cdot 2,36^{1/3} = 480 \text{ м.} \end{aligned}$$

Границы повреждения зданий:

$$\begin{aligned} \text{полные разрушения} &- R_1 = 32 \cdot 2,36^{1/3} = 42 \text{ м,} \\ \text{сильные разрушения} &- R_2 = 45 \cdot 2,36^{1/3} = 60 \text{ м,} \\ \text{средние разрушения} &- R_3 = 64 \cdot 2,36^{1/3} = 85 \text{ м,} \\ \text{умеренные разрушения} &- R_4 = 120 \cdot 2,36^{1/3} = 160 \text{ м,} \\ \text{малые повреждения} &- R_5 = 360 \cdot 2,36^{1/3} = 480 \text{ м.} \end{aligned}$$

2.2. По формуле (3.8) и рис. 3.1 Руководства определяются относительные величины расстояний X_p и величины избыточного давления ΔP на расстояниях, указанных в п.2.1 настоящего примера.

Относительная величина расстояния определяется по формуле (3.8):

$$X_p = R_1 / (0,42 \cdot M_p)^{1/3} = R_1 / (0,42 \cdot 2,36)^{1/3} = R_1 / 1,0$$

Значения величин X_p и ΔP составят:

для людей: $R_1 = 42 \text{ м, } \Delta P = 100 \text{ кПа;}$

$$R_2 = 480 \text{ м, } \Delta P = 3 \text{ кПа;}$$

для зданий: $R_1 = 42 \text{ м, } X_p = 42 \text{ м, } \Delta P = 100 \text{ кПа;}$

$$R_2 = 60 \text{ м, } X_p = 60 \text{ м, } \Delta P = 55 \text{ кПа;}$$

$$R_3 = 85 \text{ м, } X_p = 85 \text{ м, } \Delta P = 30 \text{ кПа;}$$

$$R_4 = 160 \text{ м, } X_p = 160 \text{ м, } \Delta P = 15 \text{ кПа;}$$

$$R_5 = 480 \text{ м, } X_p = 480 \text{ м, } \Delta P = 3 \text{ кПа.}$$

Полученные результаты совпадают с данными табл. П.3.1 Приложения 3 с небольшими отклонениями.

2.3. При мгновенной разгерметизации цистерны, согласно п.1.3 Примера 1, масса газа в облаке ТВС составляет $M_p = 15,5$ т. Границы зон поражения с соответственно изменяются, а величины избыточного давления ΔP останутся без изменения.

Ниже приводятся результаты расчетов по изложенной выше методике для людей.

Границы зон поражения:

$$\text{тяжелые поражения} - R_1 = 32 \cdot 15,5^{1/3} = 80 \text{ м,}$$

$$\text{порог поражения} - R_2 = 360 \cdot 15,5^{1/3} = 900 \text{ м.}$$

Относительная величина расстояния определяется по формуле (3.8)%

$$X_p = R_1 / (0,42 \cdot 15,5)^{1/3} = R_1 / 1,9.$$

Значения величин X_p и ΔP составят:

$$R_1 = 80 \text{ м, } X_p = 80/1,9 = 42; \Delta P = 100 \text{ кПа;}$$

$$R_2 = 900 \text{ м, } X_p = 900/1,9 = 474; \Delta P = 3 \text{ кПа.}$$

16.2. Расчет площади разлива, размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях цистерн с ЛВЖ

Пример 3

Определить площадь разлива ЛВЖ, радиус взрывоопасной зоны и избыточное давление взрыва при частичной аварийной разгерметизации сливного устройства площадью $S_0 = 78,5 \text{ см}^2$ ($d = 100 \text{ мм}$) стандартной цистерны с полным объемом $61,2 \text{ м}^3$ и при проливе всего количества бензина АИ93, находящегося в цистерне.

Исходные данные

Внутренний диаметр цистерны D , м.....	2,8
Степень заполнения цистерны.....	0,85
Расчетная температура воздуха t_p , $^{\circ}\text{C}$	28
Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{\text{нкпр}}$, % (об).....	1,1
Константы уравнения Антуана: $A = 5,14031$ $B = 695,019$ $C_A = 223,220$	
Теплота сгорания $Q_{\text{сг}}$, $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$	43641
Температура вспышки $t_{\text{свп}}$, $^{\circ}\text{C}$	37
Молярная масса M_m , $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$	95,3

Решение:

3.1. Согласно п.3.2.5 настоящего Руководства расход бензина, средняя скорость и полное время истечения при частичной аварийной разгерметизации сливного устройства определяются по формулам (3.20) и (3.21):

$$v_{\text{ср}} = 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,8} = 2,22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$G = 60 \cdot 2,22 \cdot 800 \cdot 0,00785 = 840 \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1};$$

$$\tau_{\text{ист}} = M/G = 42000/840 = 50 \text{ мин.}$$

где: M – масса бензина в цистерне.

$$M = 800 \cdot 61,2 \cdot 0,85 = 42000 \text{ кг.}$$

3.2. Согласно п.3.3.4 настоящего Руководства площадь разлива бензина, находящегося в цистерне, определяется по формуле (3.24):

$$S_p = f \cdot e \cdot V_{ж}, \text{ м}^2 = 5 \cdot 0,85 \cdot 61,2 = 260 \text{ м}^2.$$

3.3. Рост площади разлива бензина в зависимости от времени определяется согласно п.3.2.7 Руководства по формуле (b¹):

$$S_p(\tau) = (0,00625 \cdot 840) \cdot \tau = 5,25 \cdot \tau,$$

где коэффициент 5,25 представляет собой скорость роста площади разлива, м² · мин⁻¹.

По формуле (b¹) можно определить площадь разлива в любой момент времени от начала аварии:

$$\begin{aligned} \tau = 10 \text{ мин, } S_p &= 5,25 \cdot 10 = 52,5 \text{ м}^2, \\ \tau = 30 \text{ мин, } S_p &= 5,25 \cdot 30 = 157,5 \text{ м}^2, \\ \tau = 50 \text{ мин, } S_p &= 5,25 \cdot 50 = 262,5 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

3.4. Для расчета радиуса взрывоопасной зоны по формуле (3.9) необходимо сначала определить массу испарившейся жидкости по формуле (3.10), интенсивность испарения по формуле (3.12), давление насыщенных паров ЛВЖ по формуле (3.13) и плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре по формуле (3.14).

Расчет перечисленных параметров проводится в следующей последовательности.

3.4.1. Определяется масса пролитой ЛВЖ по формуле (3.19):

$$M(\tau) = \rho_{ж} \cdot V_{ж} \cdot e = 800 \cdot 61,2 \cdot 0,85 = 42000 \text{ кг.}$$

Масса пролитой ЛВЖ в зависимости от времени истечения определяется по формуле:

$$M(\tau) = G \cdot \tau, \text{ где } \tau < \tau_{ист}.$$

В нашем примере $G = 840 \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1}$, поэтому:

$$M(\tau) = 240 \cdot \tau.$$

На 50-ой минуте масса пролитой ЛВЖ равна массе, находящейся в цистерне:

$$M(\tau) = 840 \cdot 50 = 42000 \text{ кг.}$$

3.4.2. Определяется давление насыщенных паров бензина по формуле (3.13):

$$P_n = 0,133 \cdot 10^{[5,14031 - (695,019 / (223,220 + 28))]} = 0,133 \cdot 10^{2,37} = 31Б2 \text{ кПа.}$$

3.4.3. Определяется интенсивность испарения паров бензина при неподвижной среде по формуле (3.12):

$$I_p = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 95,3^{0,5} \cdot 31,2 = 3,05 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

3.4.4. Определяется расчетная продолжительность поступления паров бензина в окружающее пространство с полной площади разлива по формуле (3.11):

$$T = M / (I_p \cdot S_p) = 42000 / (3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 260) = 531645 \text{ с} > 14400 \text{ с.}$$

Принимаем расчетное время испарения $T = 14400 \text{ с}$, $K = 1$.

3.4.5. Определяется масса паров, поступившая в окружающее пространство с полной поверхности пролитого бензина, по формуле (3.10):

$$M_p = I_p \cdot T \cdot S_p = 3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 14400 \cdot 262,5 = 1150 \text{ кг.}$$

3.4.6. Определяется плотность паров бензина при расчетной температуре по формуле (3.14):

$$\rho_n = \frac{95,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 28)} = 3,86 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$$

3.4.7. Определяется радиус зоны загазованности (взрывоопасной зоны) при полной разгерметизации цистерны по формуле (3.9):

$$X_{\text{нкпр}} = 3,2 \cdot K^{0,5} \cdot [P_n / C_{\text{нкпр}}]^{0,8} \cdot [M_p / (\rho_n \cdot P_n)]^{0,33} = 3,2 \cdot 1^{0,5} \cdot [31,2 / 1,1]^{0,8} \cdot [1150 / (3,86 \cdot 31,2)]^{0,33} = 3,2 \cdot 1 \cdot 14,53 \cdot 2,1 = 98 \text{ м.}$$

3.4.8. Масса паров бензина, поступающая в окружающее пространство в зависимости от времени истечения, определяется согласно п.3.2.6 по формуле (с¹):

$$M_p(\tau) = (90 \cdot I_p \cdot G) \cdot \tau = (90 \cdot 3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 840) \cdot \tau = 23 \cdot \tau,$$

где коэффициент 23 представляет собой скорость поступления паров бензина в окружающее пространство, кг · мин⁻¹.

По формуле (с¹) можно оперативно рассчитать количество паров бензина, поступивших в облако ТВС в любой момент времени от начала аварии:

$$\text{при } \tau = 10 \text{ мин. } M_p = 23 \cdot 10 = 230 \text{ кг,}$$

$$\text{при } \tau = 30 \text{ мин. } M_p = 23 \cdot 30 = 690 \text{ кг,}$$

$$\text{при } \tau = 50 \text{ мин. } M_p = 23 \cdot 50 = 1150 \text{ кг.}$$

На 50-ой минуте масса паров бензина соответствует массе, поступившей в облако ТВС, рассчитанной по формуле (3.10) с полной поверхности пролитого бензина.

3.4.9. Радиус зоны загазованности изменяется во времени в зависимости от количества паров бензина, поступивших в облако.

В зависимости от времени размер взрывоопасной зоны определяется согласно п.3.2.6 по формуле (d¹):

$$X_{\text{нкпр}} = 14,13 \cdot [(31,2/1,1)^{0,8} \cdot (3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 840)^{0,33}] \cdot \tau^{0,33} = (14,13 \cdot 14,53 \cdot 0,131) \cdot \tau^{0,33} = 27 \cdot \tau^{0,33},$$

где коэффициент 27 представляет собой скорость роста радиуса взрывоопасной зоны, м · мин⁻¹.

По формуле (d¹) можно оперативно рассчитать радиус взрывоопасной зоны в любой момент времени от начала аварии:

$$\text{при } \tau = 10 \text{ мин. } X_{\text{нкпр}} = 27 \cdot 10^{0,33} = 58 \text{ м,}$$

$$\text{при } \tau = 30 \text{ мин. } X_{\text{нкпр}} = 27 \cdot 30^{0,33} = 83 \text{ м,}$$

$$\text{при } \tau = 50 \text{ мин. } X_{\text{нкпр}} = 27 \cdot 50^{0,33} = 98 \text{ м.}$$

На 50-ой минуте радиус взрывоопасной зоны соответствует размеру зоны при проливе всего количества бензина, рассчитанного по формуле (3.9) (см. п.3.4.7 настоящего раздела).

По приведенным выше формулам для данного примера можно построить графики зависимости рассмотренных параметров от времени истечения бензина из цистерны:

$$\begin{aligned}
S_p(\tau) &= 5,25 \cdot \tau, \text{ м}^2 \\
M(\tau) &= 840 \cdot \tau, \text{ м} \\
M_p(\tau) &= 23 \cdot \tau, \text{ кг} \\
X_{\text{нкпр}}(\tau) &= 27 \cdot \tau^{0,33}, \text{ м}
\end{aligned}$$

3.4.10. По приведенной методике можно рассчитать перечисленные выше параметры обращающихся на объектах железнодорожного транспорта ЛВЖ в цистернах существующих моделей. Полученные расчетные данные (графики) можно использовать в качестве приложений к оперативным планам ликвидации аварий и тушения пожаров.

3.5. Величина избыточного давления ΔP при взрыве ТВС, образовавшихся в результате аварии цистерны с бензином, определяется по формулам (3.17) и 3.18) в следующей последовательности.

3.5.1. Рассчитывается величина приведенной массы паров бензина при проливе всего количества бензина, находящегося в цистерне:

$$M_{\text{пр}} = (Q_{\text{ср}}/Q_0) \cdot M_p \cdot K_z = (43641/4520) \cdot 1150 \cdot 0,1 = 1110 \text{ кг.}$$

3.5.2. Определяется величина избыточного давления на границе взрывоопасной зоны ($r = 98 \text{ м}$):

$$\Delta P = 101 \cdot (0,8 \cdot 1110^{0,33}/98 + 3 \cdot 1110^{0,66}/98^2 + 5 \cdot 1110/98^3) = 12,12 \text{ кПа.}$$

Рассчитанные по формуле (3.17) величины избыточного давления на различных расстояниях от геометрического центра облака приведены в приведенной ниже таблице:

$r, \text{ м}$	10	20	50	98	300
$\Delta P, \text{ кПа}$	952	189	33,3	12	3,00

3.6. Величина избыточного давления взрыва на границе взрывоопасной зоны в начальной стадии аварии или в любой момент времени от ее начала рассчитывается в указанной в п.3.5 настоящего примера последовательности, но с учетом массы паров бензина, поступивших в облако ТВС в заданное время.

Например, при $\tau = 10 \text{ мин}$ от начала аварии:

$$\begin{aligned}
M_p &= 23 \cdot 10 = 230 \text{ кг,} \\
X_{\text{нкпр}} &= 27 \cdot 10^{0,33} = 58 \text{ м,} \\
M_{\text{пр}} &= (43641/4520) \cdot 230 \cdot 0,1 = 223 \text{ кг,} \\
\Delta P &= 101 \cdot (0,8 \cdot 223^{0,33}/58 + 3 \cdot 223^{0,66}/58^2 + 5 \cdot 223/58^3) = 12,1 \text{ кПа.}
\end{aligned}$$

Величины избыточного давления взрыва на 10-ой и 50-ой минутах от начала аварии равны. Это объясняется тем, что радиус зоны загазованности увеличивается пропорционально расходу бензина из сливного устройства, площади разлива и массе поступающих паров ЛВЖ в окружающее пространство.

16.3. Расчет плотности теплового излучения пожаров проливов и огненных шаров

Пример 4

Определить ожидаемую плотность теплового излучения на расстоянии $r = 40$ м от пожара пролива ЛВЖ.

Исходные данные:

В результате разгерметизации трубопровода произошла утечка и загорание бензина на площади 300 м^2 . Скорость ветра незначительна (меньше 1 м/с).

Решение:

Для расчета диаметра и радиуса пламени используется формула (3.25):

$$d_n = (4 \cdot S_p / \pi)^{0,5} = 4 \cdot 300 / 3,14)^{0,5} = 19,5 \text{ м}; r_n = 10 \text{ м}.$$

По Приложению 5 определяется средне поверхностная плотность теплового излучения факела пламени: $E = 130 \text{ кВт/м}^2$.

По формуле (3.27) определяется коэффициент облученности φ между факелом пламени и элементарной площадкой на поверхности облучаемого объекта:

$$\varphi = \frac{10^2 \cdot 40}{(10^2 + 40^2)^{1,5}} \cdot [1 - 0,0581 \ln(40)] = 0,05$$

По формуле (3.26) определяется величина плотности теплового излучения q на расстоянии 40 м от пожара:

$$q = E \cdot \varphi = 130 \cdot 0,05 = 6,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с данными табл. П.4.2 (Приложение 4) данное значение плотности теплового излучения не вызывает воспламенение горючих материалов.

Пример 5

Определить ожидаемую плотность теплового излучения на расстоянии $r = 100$ м от огненного шара и оценить опасность излучения.

Исходные данные:

В результате столкновения двух цистерн с СУГ произошел пожар пролива вещества. От теплового воздействия пожара пролива произошел взрыв второй цистерны с нагрузкой 24 т СУГ с образованием огненного шара.

Решение:

По формулам (3.28) – (3.30) определяются масса огненного шара, его радиус и время существования:

$$\begin{aligned} M_{\text{ош}} &= 0,6 \cdot M = 0,6 \cdot 24 = 14,4 \text{ т}; \\ R_{\text{ош}} &= 29 \cdot M_{\text{ош}}^{1/3} = 29 \cdot 2,4 = 70 \text{ м}; \\ t_{\text{ош}} &= 4,5 \cdot M_{\text{ош}}^{1/3} = 10,8 \text{ с}. \end{aligned}$$

По формуле (3.27) определяется φ коэффициент облученности между факелом пламени и элементарной площадкой на поверхности облучаемого объекта при $r_n = R_{\text{ош}} = 70$ м и $r = 100$ м:

$$\varphi = \frac{70^2 \cdot 100}{(70^2 + 100^2)^{1,5}} \cdot [1 - 0,0581 \ln(100)] = 0,197$$

По Приложению 5 определяется средне поверхностная плотность теплового излучения факела пламени $E = 200 \text{ кВт/м}^2$.

По формуле (3.26) определяется величина плотности теплового излучения q на заданном расстоянии:

$$q = E \cdot \varphi = 200 \cdot 0,197 = 39,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с данными табл. П.4.2 (Приложение 4) данное значение плотности теплового излучения при времени облучения 10,8 с не вызывает воспламенение горючих материалов.

Вероятность поражения людей тепловым потоком зависит от индекса дозы теплового излучения (I), который определяется из соотношения (3.31):

$$I = t_{\text{ом}} \cdot (1000 \cdot q)^{4/3} = 10,8 \cdot (1000 \cdot 39,5)^{4/3} = 1,24 \cdot 10^7.$$

Доля пораженных тепловым излучением определяется по табл. П.1.3 или рис. П.1.2 (Приложение 1) и составляет около 50%, получивших ожоги II степени, и 15%, получивших смертельное поражение.

16.4. Расчет зон химического заражения

Пример 6

Определить глубину зоны заражения АХОВ.

Исходные данные:

В результате столкновения на сортировочной станции двух цистерн с жидким хлором произошел разлив 40 т АХОВ. Метеоусловия: скорость ветра 5 м/с, температура воздуха 0°C , состояние атмосферы – изотермия. Время испарения 40 мин.

Решение:

По формуле (3.32) определяются эквивалентное количество продукта в первичном облаке:

$$Q_{\text{э1}} = K1 \cdot K3 \cdot K5 \cdot K7 \cdot Q_0 = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 0,6 \cdot 40 = 1 \text{ т}.$$

Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку производится по формуле (3.33):

$$Q_{\text{э2}} = (1 - K1) \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5 \cdot K6 \cdot K7 \cdot Q_0 / (h \cdot \rho) = (1 - 0,18) \cdot 0,052 \cdot 1 \cdot 2,34 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 40 / (0,05 \cdot 1,553) = 11,8 \text{ т}.$$

По таблицам Приложения 6 находим глубину зоны заражения первичным облаком $\Gamma 1 = 1,68 \text{ км}$ и вторичным облаком $\Gamma 2 = 6 \text{ км}$.

Полная глубина зоны заражения определяется по формуле (3.34):

$$\Gamma = \Gamma_{\text{max}} + 0,5 \Gamma_{\text{min}} = 6 + 0,5 \cdot 1,68 = 6,84 \text{ км}.$$

16.5. Оценка пожарной обстановки при аварии с опасными грузами

Пример 7

Провести оценку пожарной обстановки при аварии с ЛВЖ и СУГ на сортировочной станции.

Исходные данные:

При проведении маневренных работ произошло столкновение цистерны с ЛВЖ (керосин) и цистерны, содержащей СУГ (пропан). Цистерны стандартные объемом соответственно 61,2 и 54 м³, загрузка ЛВЖ 42 т, загрузка СУГ 24 т, степень заполнения 0,85. В результате столкновения цистерна с ЛВЖ получила пробоину площадью 78,5 см², из которой начал вытекать керосин. Через 41 мин. Пролитый керосин воспламенился. В результате теплового воздействия происходит взрыв цистерны с СУГ с образованием огненного шара.

Решение:

1) Производится оценка времени и площади разлива ЛВЖ.

Время истечения ЛВЖ определяется по табл. П.7.5 Приложения 7. В данном случае при площади пробоины 78,5 см² время полного истечения составляет 50 мин.

Согласно п.3.2.5 настоящего Руководства расход керосина из пробоины и средняя скорость определяются по формулам (3.20) и (3.21):

$$v_{cp} = 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,8} = 2,22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1},$$
$$G = 60 \cdot 2,22 \cdot 800 \cdot 0,00785 = 840 \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1}.$$

На 41-ой минуте согласно п.3.2.6 по формуле (b¹) площадь разлива составит:

$$S_p(\tau) = (0,00625 \cdot G) \cdot \tau = (0,00625 \cdot 840) \cdot 41 = 215 \text{ м}^2.$$

Длина и ширина фронта пожара пролива определяются исходя из условия прямоугольной формы его распространения (п.6.1.4):

$$S_{п} = a \cdot b,$$

где $S_{п}$ – площадь пожара, м²;

a – длина фронта пожара, м;

b – ширина фронта пожара, м.

Ширина фронта пожара при $S_{п} = S_p = 215 \text{ м}^2$ составляет:

$$b = (S_{п}/3,5)^{1/2} = 7,85 \text{ м}.$$

Длина фронта пожара:

$$a = 3,5 \cdot b = 27,5 \text{ м}.$$

2) Производится расчет возможного количества вагонов, попавших в зону пожара, в соответствии с п.6.4.

Общее количество вагонов в очаге пожара:

$$N = S_{п} \cdot K_p / S_b = 215 \cdot 0,75 / 40 = 4 \text{ шт.}$$

количество N_k вагонов на крайних железнодорожных путях по длине фронта пожара:

$$N_k = a / (I_b + 1) = 27,5 / (12 + 1) = 2 \text{ шт.};$$

количество $N_{ш}$ вагонов на крайних железнодорожных путях по ширине фронта пожара:

$$N_k = b/r_{жд} = 7,85/4 = 2 \text{ шт.}$$

Таким образом, в зоне пожара могут находиться 4 цистерны (вагона).

Возможная пожарная обстановка показана на рис. П.16.1.

3) Производится расчет зоны опасного воздействия теплового излучения пожара пролива, т.е. зоны возможного распространения пожара при $q_{кр} > 12,5 \text{ кВт/м}^2$.

Плотность теплового излучения при пожаре пролива определяется по табл. П.9.2 Приложения 9. Масса пролитого керосина согласно п.3.2.6 по формуле (а) составит:

$$M(\tau) = G \cdot \tau = 840 \cdot 41 = 34,4 \text{ т.}$$

В этом случае по табл. П.9.2 плотность теплового излучения на расстоянии 30 м составит $12,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Таким образом, граница опасной зоны (зоны возможного распространения пожара) расположена на расстоянии 30 м от границы пролива.

На рис. П.16.1 показана зона возможного распространения пожара, т.е. при нахождении в данной зоне горючих материалов произойдет их воспламенение.

4) Через 15-25 мин (в соответствии с п.6.1.3) после начала теплового воздействия пожара пролива на цистерну с СУГ произойдет взрыв этой цистерны с образованием огненного шара.

По формулам (3.28) – (3.30) определяются масса огненного шара, его радиус и время существования:

$$\begin{aligned} M_{ош} &= 0,6 \cdot M = 0,6 \cdot 24 = 14,4 \text{ т;} \\ R_{ош} &= 29 \cdot M_{ош}^{1/3} = 29 \cdot 2,4 = 70 \text{ м;} \\ t_{ош} &= 4,5 \cdot M_{ош}^{1/3} = 10,8 \text{ с.} \end{aligned}$$

Полагается, что в зоне радиусом 70 м (радиус огненного шара) все горючие материалы воспламеняются.

По формуле (3.27) п.3.4.4 определяется коэффициент облученности ϕ и величина плотности теплового излучения q (кВт/м^2) на различных расстояниях от огненного шара. Т.к. при величине теплового излучения более 85 кВт/м^2 происходит воспламенение через 3-5 с (Приложение 4), полагается, что при времени облучения 10,8 с (времени существования огненного шара) воспламенение произойдет при $q_{кр} = 60 \text{ кВт/м}^2$. Такой величине плотности соответствует расстояние от поверхности огненного шара – 50 м.

Таким образом, зона возможного распространения пожара от воздействия огненного шара (рис. П.16.1) составляет 120 м (70 м + 50 м) от цистерны с СУГ (места аварии).

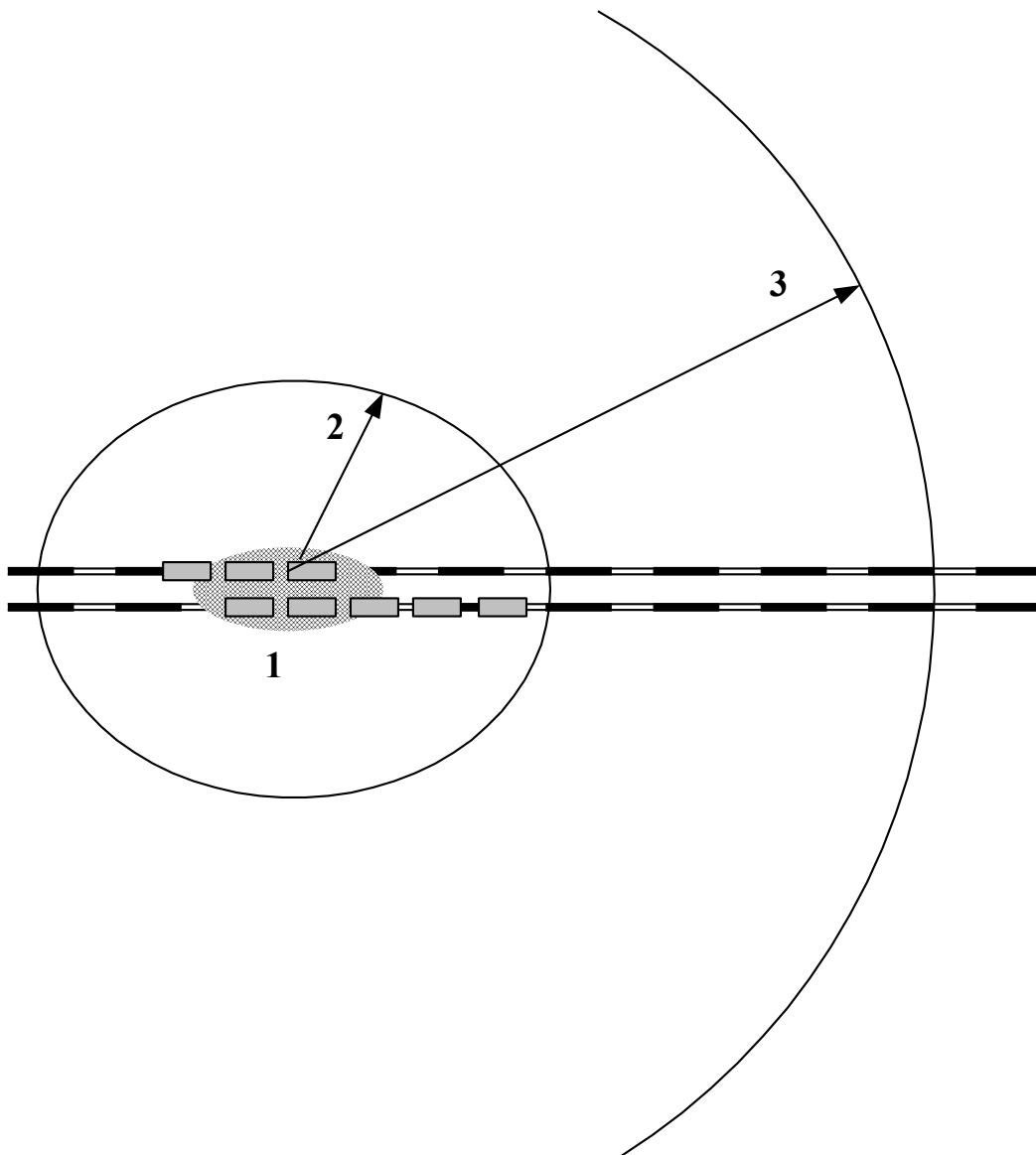


Рис. П.12.1. Зоны возможного распространения пожара при аварии с проливом ЛВЖ и образованием огненного шара (масштаб 1:1000):
 1 – пожар пролива ЛВЖ;
 2 – зона возможного распространения пожара пролива;
 3 – фрагмент зоны возможного распространения пожара от теплового воздействия огненного шара.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВНТП 05-97. Определение категорий помещений и зданий предприятий и объектов железнодорожного транспорта по взрывопожарной и пожарной опасности. - М.: ГипротрансТЭИ, 1997. - 99 с.
2. Предупреждение крупных аварий: Практическое руководство. - М.: Московский НИИ охраны труда. 1992. - 256 с.
3. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (Книга 2). - М.: МЧС, 1994. - 76 с.
4. Определение категорий наружных установок по пожарной опасности. НПБ 107-97. - М.: ГУГПС МВД России, 1997. - 22 с.
5. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. - М.: Metallургия. 1988. - 126 с.
6. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. (РД 52.04.253-90) -М.: Штаб ГО СССР, 1990.
7. Организация и тактика тушения пожаров в подвижном составе железнодорожного транспорта /Рекомендации. М.:ВНИИПО МВД СССР, 1987. - 80 с.
8. Рекомендации по тушению пожаров на железнодорожном транспорте (временные). - М.: ВНИИЖТ, 1995. - 198 с.
9. Рекомендации по противопожарной защите объектов и подвижного состава с опасными грузами. - М.: Транспорт, 1994. - 63 с.
10. Инструкция по организации аварийно-восстановительных работ на железных дорогах Российской Федерации. ЦРБ-353. М.: МПС РФ, 1996. - 32 с.
11. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам. - М.: Транспорт, 1995.
12. Указания по составлению в частях и гарнизонах пожарной охраны оперативных планов и карточек тушения пожаров. - М.: ГУПО МВД, 1970.
13. Боевой устав пожарной охраны (Приложение 2 к приказу МВД России от 05.07.95 г. № 257. - М., 1995.
14. Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1994. - 159 с.
15. Положение о восстановительных поездах на железнодорожном транспорте Российской Федерации. ЦРБ-364. - М.: МПС РФ, 1996. - 32 с.
16. ГОСТ 19433-86. Грузы опасные. Классификация и маркировка.
17. ГОСТ Р 22.0.06-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействий.
18. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
19. ПТЭ. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ЦРБ/162 от 26.04.93 г.) - М.: Транспорт, 1993. - 161 с.
20. Правила перевозок опасных грузов. - М.: Транспорт, 1996. - 252 с.
21. Инструкция по движению поездов и маневровой работе. - М.: Транспорт, 1993. - 288 с.
22. Инструкция по составлению техническо-распорядительных актов станций. ЦД-223. - М.: МПС РФ, 1994. - 37 с.
23. СТН Ц-01-95. Строительно-технические нормы МПС Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. - М.: Транспорт, 1994. - 63 с.
24. СНиП 2.07.01-89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских поселений. - М.: ЦНИИП градостроительства, 1989.

25. Соглашение между МВД России и МЧС России о порядке осуществления государственного пожарного надзора и других полномочий Государственной противопожарной службы МВД Российской Федерации на объектах Министерства путей сообщения. 1995 - 5 с.
26. Программа подготовки личного состава частей и гарнизонов пожарной охраны. Приказ МВД СССР от 4.03.87 г. № 44.
27. Типовой технологический процесс работы сортировочной станции. - М.: Транспорт, 1988. - 240 с.
28. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. - М. : Химия, 1987. - 272 с.
29. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. -М.: Стройиздат, 1987. - 288 с.
30. Кимстач И.Ф. и др. Пожарная тактика. -М.: Стройиздат, 1984. - 590 с.
31. Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. Теплопередача в пожарном деле. -М.: ВИПТШ, 1969. - 424 с.
32. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир. 1989. - 672 с.
33. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве. - М. : Стройиздат, 1985. - 590 с.
34. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтехимической промышленности. - М.: Химия, 1979. - 368 с.
35. Бейкер У. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. В 2 кн. Пер. с англ. Под ред. Я.Б.Зельдовича, Б.Е.Гельфанда. - М.: Мир, 1986. - 123 с.
36. Теряев В.Г. и др. Крупные производственные аварии: медицинские аспекты. - М.: МИПП "Пролог", 1992. - 128 с.
37. Радзиевский С.И., Хнычкин В.М. Пожаробезопасность и противопожарная защита кораблей. - Л.: Судостроение, 1987. - с.
38. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение /Бессчастнов М.В. - М.: Химия, 1991. - 432 с.
39. Абдурагимов И.М., Говоров В. Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. - М.: ВИПТШ, 1980. - 255 с.
40. Шебеко Ю.Н. и др. Пожаровзрывоопасность перевозок СУГ железнодорожным транспортом. //Пожаровзрывобезопасность. -1993. № 1. - с.39-45.
41. Безродный И.Ф. и др. Тушение нефти и нефтепродуктов. - М.: ВНИИПО, 1996. - 216 с.
42. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справочник. В 2 кн. Под ред. А.Н.Баратова. А.Я.Корольченко. – М.: Химия, 1990. –384 с.
43. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории. – М.: ВНИИПО, 1997. – 50 с.
44. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов. Справочное пособие. – М.: Издательство стандартов, 1993. –214 с.
45. ГОСТ Р 22.9.05-95. Безопасность чрезвычайных ситуаций. Комплекс средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования.