

МОДУЛЬ ARCGIS

«Риск ЧС (оператор)»

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Версия модуля

1.0 (декабрь 2010)

АННОТАЦИЯ

Данный документ является приложением к руководству пользователя модулем «Риск ЧС (оператор)» и содержит выдержки из нормативных документов, в которых описаны реализованные методики расчета

Оглавление

Введение.....	3
1. Комплекс методик по оценке размеров зон поражения при аварийном разрыве газопроводов для рабочих органов КСГЗ дочерних обществ и филиалов (ВНИИ ГАЗ, 2006).....	4
1.1. Опасная концентрация при аварийном разрыве газопровода.....	4
1.2. Термическое поражение при аварийном разрыве газопровода.....	10
1.3. Ударная волна при аварийном разрыве газопровода.....	22
1.4. Осколочное поражение при аварийном разрыве газопровода	25
2. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов	31
2.1. ПРИЛОЖЕНИЕ В. Тепловое излучение при пожаре пролива.....	31
2.2. ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Тепловое излучение «огненного шара».....	32
2.3. ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Давление при сгорании газопаровоздушных смесей в открытом пространстве.....	33
2.4. ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Давление при взрыве резервуара с перегретой жидкостью	34
3. РД 03-409-01 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ.....	36
3.1. Взрыв топливно-воздушной смеси	36
4. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств	69
4.1. Приложение 2. Взрыв парогазовых сред, а также твердых и жидких нестабильных соединений	69
5. Методика прогнозирования последствий взрывов конденсированных взрывчатых веществ. Военно-Инженерный университет	71
5.1. Взрыв конденсированных взрывчатых веществ	71
6. РД 52.04.253-90 Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях на химически опасных объектах и транспорте	80
6.1. Заражение СДЯВ при аварии на химически опасных объектах	80
7. ВоенИздат 80 Методика оценки радиационной и химической обстановки по данным разведки.....	92
7.1. Оценка радиационной обстановки при взрывах ядерных боеприпасов.....	92

Введение

В данном документе представлены выдержки из нормативных документов, в которых приводятся только формулы расчета. В составе документации также представлены оригиналы каждого нормативного документа.

1. Комплекс методик по оценке размеров зон поражения при аварийном разрыве газопроводов для рабочих органов КСГЗ дочерних обществ и филиалов (ВНИИ ГАЗ, 2006)

1.1. Опасная концентрация при аварийном разрыве газопровода

2 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАЗМЕРОВ ЗОН ОПАСНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

При авариях на магистральных газопроводах характерны интенсивные выбросы газа длительностью от единиц до десятков минут. При этом в ближней к источнику области выбрасываемый газ рассеивается по законам струйного смешения с воздухом. При струйном истечении начальное направление выброса газа совпадает с осью разорванной трубы, и возможно образование двух независимых струй, направленных под небольшим углом к поверхности земли. На определенном расстоянии от среза трубы средняя осевая скорость струи становится соизмерима со скоростью сносимого воздушного потока и начинает доминировать механизм рассеивания, определяемый параметрами атмосферы. К этому моменту в струе происходит существенное смешение горючего газа с воздухом и концентрация газа в смеси становится меньше нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ). При сильном взаимодействии струй между собой и со стенками образованного при разрыве подземного газопровода котлована происходит значительная потеря первоначального импульса струй и, так как плотность газа (метана) в нормальных условиях почти в два раза меньше плотности воздуха, то после потери кинетической энергии газ начинает подниматься вверх, образуя практически вертикальное восходящее колонновидное течение, поэтому его концентрация в приземной области (наиболее опасной с точки зрения источников зажигания) не достигает критических значений.

Исходя из вышесказанного, для определения зон пожаро-взрывоопасных концентраций газа в месте возможной аварии на газопроводе достаточно рассмотреть сценарий струйного истечения газа под небольшим углом относительно земной поверхности.

2.1 Расчет концентрации газа в зоне струйного истечения

Режим истечения газа из аварийного участка газопровода определяется из условия:

$$\begin{aligned} P_E > P_{ат} &- \text{критическое истечение,} \\ P_E \leq P_{ат} &- \text{докритическое истечение,} \end{aligned} \quad (2.1)$$

где

$P_{ат}$ – атмосферное давление, Па, принимается равным 101300 Па;

P_E – давление в аварийном выходном сечении газопровода, Па, определяется по формуле (2.4).

Если истечение газа из аварийного участка газопровода происходит в дозвуковом режиме, размеры зоны загазованности небольшие и ими можно пренебречь.

R – газовая постоянная, $\frac{M^2}{c^2 \cdot K}$, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси газовая постоянная определяется по формуле (1.31);

T_0 – температура транспортируемого газа в месте разрыва до аварии, К, определяется режимом эксплуатации газопровода.

В конце участка изэнтропного расширения струи давление газа в поперечной плоскости течения выравнивается и становится равным атмосферному. Данное сечение в газовой динамике получило названия «изобарическое сечение нерасчетной струи» или «ударная плоскость».

В ударной плоскости (индекс «з») значение газодинамического параметра скорости – числа λ определяется как:

$$\lambda_z = 1 + \frac{P_E - P_a}{\rho_E \cdot u_E^2} \quad (2.5)$$

где

P_E – давление в выходном сечении трубы, Па, определяется по формуле (2.4);

P_a – атмосферное давление, Па, принимается равным 101300 Па;

ρ_E – плотность газа в выходном сечении трубы, кг/м³, определяется по формуле (2.3);

u_E – скорость газа, м/с, в выходном сечении трубы, определяется по формуле (2.2).

Число Маха определяется по формуле:

$$M_z = \frac{\lambda_z \cdot a_E}{\sqrt{\gamma_z \cdot R \cdot T_z}} \quad (2.6)$$

где

λ_z – газодинамический параметр скорости, определяется по формуле (2.5);

a_E – местная скорость звука (м/с), определяется по формуле (2.2);

γ_z – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

R – газовая постоянная, $\frac{M^2}{c^2 \cdot K}$, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси газовая постоянная определяется по формуле (1.31);

T_z – температура газа в ударной плоскости, К, определяется по формуле (2.7).

При критическом истечении происходит изоэнтропное расширение газа с разгоном потока до сверхзвуковых скоростей ($M > 1$) и формированием системы скачков уплотнения (без изменения расходных характеристик в образующемся струйном течении). Длина участка на котором происходит изоэнтропное расширение газа может составлять несколько диаметров трубы.

Для данного режима истечения газа в аварийном выходном сечении трубопровода (индекс «Е») устанавливаются следующие газодинамические параметры:

Скорость потока в выходном сечении, м/с:

$$u_E = a_E = \left(\frac{2\gamma_\varepsilon}{\gamma_\varepsilon + 1} \cdot R \cdot T_0 \right)^{1/2} \quad (2.2)$$

где

γ_ε – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

R – газовая постоянная, $\frac{м^2}{с^2 \cdot К}$, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси газовая

постоянная определяется по формуле (1.31);

T_0 – температура транспортируемого газа в месте разрыва до аварии, К, определяется режимом эксплуатации газопровода.

Плотность газа в выходном сечении, кг/м³:

$$\rho_E \equiv \rho_E(t) = \frac{4 \cdot G(t)}{a_E \cdot \pi \cdot D_{mp}^2} \quad (2.3)$$

где

$G(t)$ – массовый расход газа из аварийного сечения, кг/с, определяется по формуле (1.1);

a_E – местная скорость звука (м/с), определяется по формуле (2.1);

D_{mp} – диаметр трубы, м, определяется из данных об аварии.

Давление в выходном сечении, Па:

$$P_E \equiv P_E(t) = \frac{2}{\gamma_\varepsilon + 1} \cdot \rho_E(t) \cdot R \cdot T_0 \quad (2.4)$$

где

γ_ε – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

$\rho_E(t)$ – плотность газа в выходном сечении, кг/м³, определяется по формуле (2.3)

Температура газа в ударной плоскости определяется по формуле:

$$T_z = T_0 \left(1 - \frac{\gamma_c - 1}{\gamma_c + 1} \lambda_z^2 \right) \quad (2.7)$$

где

λ_z - газодинамический параметр скорости, определяется по формуле (2.5);

γ_c - показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

T_0 - температура транспортируемого газа в месте разрыва до аварии, К, определяется режимом эксплуатации газопровода.

Плотность газа в ударном сечении (кг/м³) определяется по формуле:

$$\rho_s = \frac{P_a}{R \cdot T_s} \quad (2.8)$$

где

P_a - атмосферное давление, Па, принимается равным 101300 Па;

R - газовая постоянная, $\frac{м^2}{с^2 \cdot К}$, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси газовая постоянная определяется по формуле (1.31);

T_s - температура газа в ударной плоскости, К, определяется по формуле (2.7).

Диаметр ударного сечения, м, определяется по формуле:

$$d_s = D_{np} \cdot \sqrt{\frac{\rho_E}{\rho_s \cdot M_s}} \quad (2.9)$$

где

D_{np} - диаметр трубы, м, определяется из данных об аварии;

M_s - число Маха, б/р, определяется по формуле (2.6);

ρ_E - плотность газа в выходном сечении трубы, кг/м³, определяется по формуле (2.3);

ρ_s - плотность газа в ударном сечении, кг/м³, определяется по формуле (2.8).

Распределение объемной концентрации по осевой (х) координате на расстояниях существенно превышающих длину участка расширения описывается функциями:

$$c_m(x) = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_6}} \cdot \frac{\beta \cdot d_z}{x \cdot \varphi(M_s)} \quad (2.10)$$

где

ρ_a – плотность воздуха при $P_{ам}$ и 293 К, кг/м³, определяется из таблицы А.1;

ρ_z – плотность газа в ударном сечении, кг/м³, определяется по формуле (2.8);

β – коэффициент, характеризующий истечение, определяется по формуле (2.11);

d_z – диаметр ударного сечения, м, определяется по формуле (2.9);

x – координата, м, в системе координат с осью x , лежащей на оси струи, и началом отсчета в точке среза трубы;

$\varphi(M_s)$ – определяется по формуле (2.12).

Коэффициент, характеризующий истечение, определяется по формуле:

$$\beta = \begin{cases} 6.2 & \text{– для струй в свободном пространстве} \\ 7.75 & \text{– для струй вдоль поверхности земли} \end{cases} \quad (2.11)$$

Функция $\varphi(M_s)$ – определяется следующим выражением:

$$\varphi(M_s) = \begin{cases} 1 - \text{при } M_s < 1.2 \\ \left(1 - 0.4\sqrt{M_s - 1.2}\right) - \text{при } 1.2 \leq M_s \leq 3.6 \\ 0.4 - \text{при } M_s > 3.6 \end{cases} \quad (2.12)$$

где

M_s – число Маха, определяется по формуле (2.6).

Концентрация газа в произвольной точке (x, y) можно задать в виде зависимостей предложенных Шлихтингом:

$$c(x, y) = c_m(x) \cdot \left[1 - \left(\frac{y}{0.22 \cdot x}\right)^{3/2}\right]^{3/2} \quad (2.13)$$

где

$c_m(x)$ – объемная концентрация газа на расстоянии x м вдоль оси аварийного газопровода (оси x), определяется по формуле (2.10);

x – координата по оси x , м, в системе координат с осью x , лежащей на оси трубы, и началом отсчета в точке среза трубы;

y – координата по оси y , м, в системе координат с осью x , лежащей на оси струи, осью y , перпендикулярной оси струи, и началом отсчета в точке среза трубы.

2.2 Расчет полей пожароопасных концентраций

Нижний предел взрывопожароопасности (взрываемости) газовой смеси $q_{нжн}$, б/р, определяется по формуле:

$$q_{нжн} = \sum_{i=1}^n q_{нжнi} v_{нжi} \quad (2.14)$$

где

n – количество пожароопасных компонентов в газовой смеси, б/р, определяется из данных о составе транспортируемого газа;

$q_{нжнi}$ – нижний предел взрываемости i -го пожароопасного компонента газа, б/р, определяется из таблицы А.1;

$v_{нжi}$ – объемная (молярная) доля i -го пожароопасного компонента, б/р, определяется из данных о составе транспортируемого газа.

Верхний предел взрывопожароопасности (взрываемости) газовой смеси $q_{нжв}$, б/р, определяется по формуле:

$$q_{нжв} = \sum_{i=1}^n q_{нжvi} v_{нжi} \quad (2.15)$$

где

n – количество пожароопасных компонентов в газовой смеси, б/р, определяется из данных о составе транспортируемого газа;

$q_{нжvi}$ – нижний предел взрываемости i -го пожароопасного компонента, б/р, определяется из таблицы А.1;

$v_{нжi}$ – объемная (молярная) доля i -го пожароопасного компонента, б/р, определяется из данных о составе транспортируемого газа.

1.2. Термическое поражение при аварийном разрыве газопровода

3 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАЗМЕРОВ ЗОН ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРИ АВАРИЙНОМ РАЗРЫВЕ ГАЗОПРОВОДА

Как показывает статистика аварий на газопроводах, достаточно часто отмечается возгорание газа. При этом для людей, оборудования и окружающей среды наибольшую опасность представляет прямой контакт с зоной горения газа и радиационное тепловое воздействие горящего факела.

В данном разделе приводится поэтапное описание расчетных процедур, необходимых для оценки зон термического воздействия газового факела, при струевом (высокоскоростном) истечении из трубы (сценарий «струевое пламя») и при низкоскоростном истечении (сценарий «пожар в котловане»).

При реальных авариях на магистральных газопроводах струи газа сталкиваются со стенками котлована, или частично взаимодействуют друг с другом. Если кинетическая энергия газовых струй гасится в пределах образовавшегося при аварии котлована, то авария развивается по сценарию «пожар в котловане», когда газ с относительно невысокой скоростью поднимается вертикально вверх из котлована и сгорает в виде вертикального факела, форма которого близка к цилиндрической.

В случае если кинетическая энергия струй сохраняется (струи не встречают препятствий и не взаимодействуют друг с другом), как правило, образуется два факела направленных под небольшим углом к поверхности земли, т.е. авария развивается по сценарию «струевое пламя». При таком сценарии форма факелов близка к коническим.

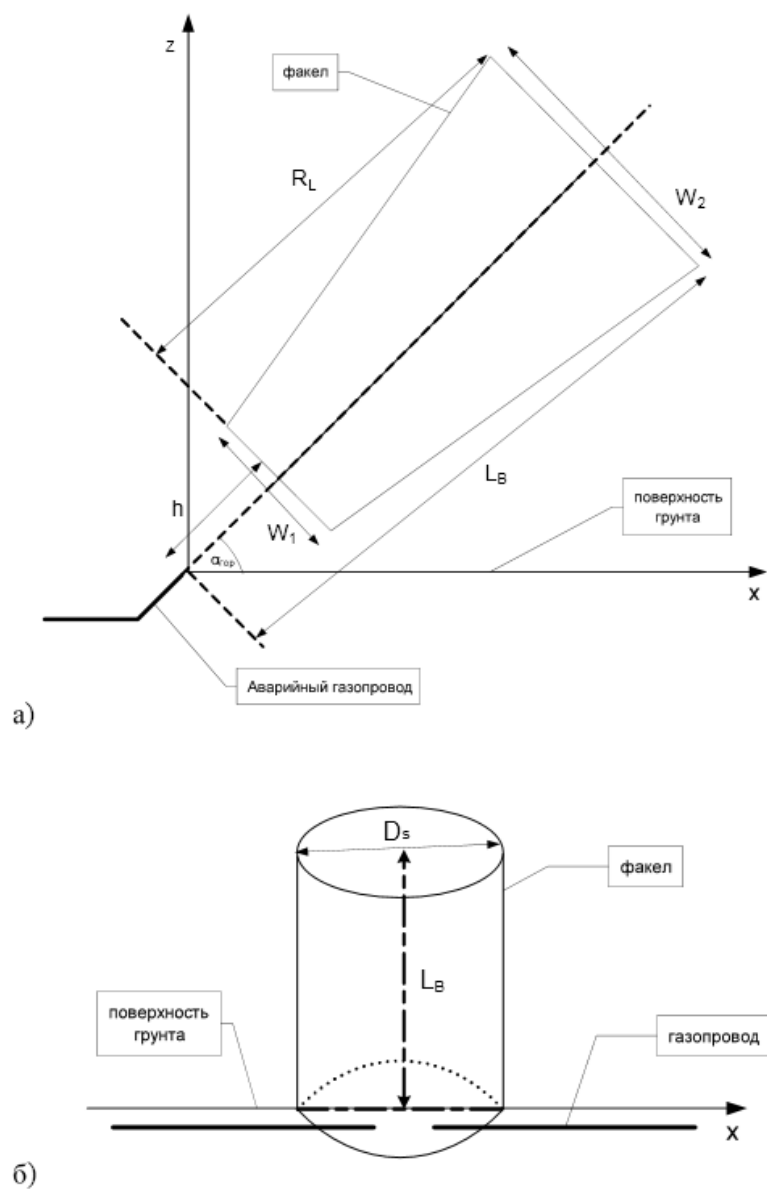
Для расчета зон термического воздействия по сценарию «пожар в котловане» форма факела представляется в виде вертикального цилиндра, при этом массовый расход газа из разорванных концов трубопровода суммируется.

Сценарий «струевое пламя» рассматривается в случае, если струи газа, истекающего из разорванных концов трубы, направлены под небольшим углом к поверхности земли (горизонтальный факел), при этом зона термического воздействия в значительной степени зависит от длины факела. При расчете по сценарию «струевое пламя» интенсивность теплового излучения в заданной точке рассчитывается независимо для факелов с обоих концов разорванной трубы, и полученные значения складываются. Все расчеты можно подразделить на следующие этапы:

- расчет геометрических характеристик газового факела (факелов) (п. 3.1);
- расчет параметров теплового излучения от факела (факелов) (п. 3.2.);
- оценка теплового излучения, воспринимаемого объектом-приемником, расположенным в произвольной точке с координатами (х,у), при условии, что точка истечения газа имеет координаты (0,0) (п. 3.3.);
- расчет теплового облучения от горящего факела, воспринимаемого объектами, окружающими зону пожара.

3.1 Расчет основных параметров пламени

Схема, поясняющая схематическое представление факела для двух сценариев горения газа, представлена на рисунке 3.1.



а – «струевое пламя», б – «пожар в котловане»

Рисунок 3.1 – Схематическое представление газового факела при сценариях а) и б)

Длина пламени L_{ϕ} , м, определяется из уравнения:

$$L_{\phi 0} = 0,23 \cdot Q_{\phi}^{0,4} - 1,02 \cdot D_z,$$

$$L_{\phi} = \begin{cases} L_{\phi 0} - \text{для пожара в котловане} \\ L_{\phi 0} - \text{для струйного факела} \\ 1,2 \cdot L_{\phi 0} - \text{для настильного струйного факела} \end{cases} \quad (3.1)$$

где

Q_{ϕ} – тепловой потенциал пожара, кВт, определяется по формуле (3.13);

D_z – эффективный диаметр факела, м, определяется по формуле (3.7).

В последующих формулах индекс «с» будет указывать, что газодинамические параметры определены в критическом сечении струи, а индекс «z» – в ударной плоскости расширяющейся струи.

Скорость газа в ударной плоскости расширяющейся струи u_z , м/с, определяется по формуле:

$$u_z = M \left[\frac{\gamma_z R_c T_z}{10^{-3} M_z} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.2)$$

где M – число Маха, б/р, определяется по формуле (3.3);

γ_z – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

R_c – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К), определяется по формуле (1.31);

T_z – Температура газа в ударной плоскости T_z , К, определяется по формуле (3.5);

M_z – молярная масса газовой смеси, г/моль, определяется по формуле (1.30).

Примечание: при $\nu_{CH_4} > 0,96$ значение γ_z принимается по метану $\gamma_z = 1,314$.

Число Маха M в ударной плоскости, б/р, определяется по формуле:

$$M = \sqrt{\frac{2}{\gamma_z - 1} \times \left[\left(\frac{P_{am}}{P_c} \right)^{\frac{\gamma_z - 1}{\gamma_z}} - 1 \right]}, \quad (3.3)$$

где γ_z – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

P_c – статическое давление в критическом сечении, Па, определяется по формуле (3.4);

P_{am} – атмосферное давление, Па, принимается равным 101300 Па.

Статическое давление в критическом сечении P_c , Па, определяется по формуле:

$$P_c = 3,6713 \frac{G_F}{d_0^2} \left[\frac{T_c}{10^{-3} \gamma_c M_c} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.4)$$

где G_F – массовый расход газа, кг/с, определяется по формуле (1.1) - для сценария

«пожар в котловане», по формулам (1.2), (1.3) для струйного истечения;

d_0 – диаметр отверстия, м, определяется из данных об аварии;

T_c – статическая температура в критическом сечении, К, определяется по формуле (3.6);

γ_c – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

M_c – молярная масса газа, г/моль, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

определяется по формуле (1.30).

Температура газа в ударной плоскости T_z , К, определяется по формуле:

$$T_z = \frac{2T_s}{2 + (\gamma_c - 1)M^2}, \quad (3.5)$$

где T_s – температура торможения (температура газа в газопроводе), К, определяется из

данных о технологических параметрах газопровода;

γ_c – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

M – число Маха, б/р, определяется по формуле (3.3).

Статическая температура в критическом сечении T_c , К, определяется по формуле:

$$T_c = \frac{2T_s}{1 + \gamma_c}, \quad (3.6)$$

где T_s – температура торможения потока, К, приравнивается к температуре

транспортируемого газа в газопроводе;

γ_c – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси

показатель адиабаты определяется по формуле (1.34).

Эффективный диаметр D_z , м, начального сечения факела вычисляется по формуле:

$$D_z = \left[\frac{4 \cdot G_F}{\pi \cdot u_c \cdot \rho_c} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ для струйного факела (сценарий «струевое пламя»),} \quad (3.7)$$

$D_z = 0.5 \cdot L_{c0}$, для колонновидного факела (сценарий «пожар в котловане»)

где G_F – массовый расход газа, кг/с, определяется по формуле (1.1);

u_c – скорость газа в расширяющейся струе, м/с, определяется по формуле (3.2);

ρ_c – плотность газа при $P_{ат}$ и T_c , кг/м³, определяется по формуле (1.38) или (1.39);

T_c – температура газовой смеси, К, определяется по формуле (3.5).

Отрыв факела пламени от среза разорванной трубы (отверстия) h , м, определяется по формуле:

$$\begin{aligned} h &= L_{\phi} \cdot 0.2, \text{ для струйного факела (сценарий «струевое пламя»)} \\ h &= 0, \text{ для колонновидного факела (сценарий «пожар в котловане»)} \end{aligned} \quad (3.8)$$

где L_{ϕ} – длина пламени, м, определяется по формуле (3.1);

Длина видимой части пламени (высота усеченного конуса) R_L , м, определяется по формуле:

$$R_L = L_{\phi} - h \quad (3.9)$$

где L_{ϕ} – длина пламени, м, определяется по формуле (3.1);

h – отрыв факела пламени от среза трубы (отверстия), м, определяется по формуле (3.8);

Ширина малого основания усеченного конуса W_1 , м, определяется по формуле:

$$W_1 = 15D_s \left(1 - \left[1 - \frac{1}{15} \left(\frac{\rho_{\phi}}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right), \text{ для струйного факела (сценарий «струевое пламя»),} \quad (3.10)$$

$W_1 = D_s$, для колонновидного факела (сценарий «пожар в котловане»)

где D_s – эффективный диаметр, м, определяется по формуле (3.7);

ρ_{ϕ} – плотность воздуха при $P_{ат}$ и 293 К, кг/м³, определяется из таблицы А.1;

$\rho_{см}$ – плотность газа в стандартных условиях, кг/м³, определяется по формуле (1.35).

Ширина большого основания усеченного конуса W_2 , м, определяется по формуле:

$$\begin{aligned} W_2 &= 0.25 \cdot L_{\phi}, \text{ для струйного факела (сценарий «струевое пламя»)} \\ W_2 &= D_s, \text{ для колонновидного факела (сценарий «пожар в котловане»),} \end{aligned} \quad (3.11)$$

где L_{ϕ} – длина пламени, м, определяется по формуле (3.1);

D_s – эффективный диаметр, м, определяется по формуле (3.7).

3.2 Расчет параметров термической радиации с поверхности пламени

Интенсивность излучения с единицы поверхности пламени в окружающее пространство q_0 , кВт/м², определяется по формуле:

$$q_0 = \frac{Q \delta_s}{S_{пл}},$$

$$q_0 \leq 200 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}, \text{ для струйного факела (сценарий «струевое пламя»),} \quad (3.12)$$

$$q_0 \leq 170 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}, \text{ для колонновидного факела (сценарий «пожар в котловане»),}$$

где Q – суммарное тепловыделение, кВт, определяется по формуле (3.13);

δ_s – доля тепла, излучаемая поверхностью пламени в атмосферу, б/р, определяется по формуле (3.15);

$S_{пл}$ – площадь поверхности пламени, м², определяется по формуле (3.14).

Суммарное тепловыделение Q , кВт, определяется по формуле:

$$Q = G_F \cdot \Delta H_{сг}, \quad (3.13)$$

где G_F – массовый расход газа, кг/с, определяется по формуле (1.1);

$\Delta H_{сг}$ – низшая теплота сгорания газа, кДж/кг, определяется по формуле (1.40).

Площадь поверхности пламени $S_{пл}$, м², рассчитывается по формуле:

$$S_{пл} = \frac{\pi}{4} (W_1^2 + W_2^2) + \frac{\pi}{2} (W_1 + W_2) \left[R_L^2 + \left(\frac{W_2 - W_1}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.14)$$

где W_1 – ширина малого основания усеченного конуса, м, определяется по формуле

(3.10);

W_2 – ширина большого основания усеченного конуса, м, определяется по формуле (3.11);

R_L – длина видимой части пламени, м, определяется по формуле (3.9).

Доля тепла, излучаемая поверхностью пламени в атмосферу, δ_s , б/р, зависит от гидродинамических характеристик смешения газа с воздухом и определяется по эмпирической формуле:

$$\delta_s = 0,11 + 0,21 e^{-0,00323 u_2}, \text{ для струйного факела (сценарий «струевое пламя»),} \quad (3.15)$$

$$\delta_s = 0,2, \text{ для колонновидного факела (сценарий «пожар в котловане»),}$$

где u_2 – скорость газа в расширяющейся струе, м/с, определяется по формуле (3.2).

3.3 Расчет теплового облучения от горящего факела

Интенсивность теплового облучения от факела q , кВт/м², для произвольной точки пространства, лежащей вне пределов факела, определяется по формуле:

$$q = \varphi q_0 \tau, \quad (3.1)$$

где φ – угловой коэффициент облучения, б/р, может быть вычислен по формулам;

q_0 – интенсивность излучения с единицы поверхности пламени в окружающее пространство, кВт/м²;

τ – коэффициент пропускания лучистой энергии атмосферой, б/р.

Угловой коэффициент облучения φ является геометрической характеристикой и зависит от взаимного расположения и формы поверхностей источника излучения и объекта.

Угловой коэффициент облучения единичной площадки (F_2) от факела с видимой поверхностью F_1 имеет следующий вид:

$$\varphi = \int_{F_1} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{\pi \cdot r^2} \cdot dF_1, \quad (3.2)$$

где

F_1 – излучающая поверхность факела, видимая со стороны облучаемой площадки;

β_1 – угол между нормалью к поверхности факела F_1 и направлением на облучаемую площадку F_2 ;

β_2 – угол между нормалью к облучаемой площадке F_2 и направлением на излучающую поверхность факела F_1 ;

r – расстояние между поверхностью факела F_1 и облучаемой площадкой F_2 .

В общем случае, когда поверхность пламени F_1 является объемной и произвольно ориентированной по отношению к поверхности облучаемой площадки F_2 интегрирование выражения (3.2) производится обычно численно. Интеграл (3.2) является интегралом по поверхности F_1 , т.е. сводится к вычислению двукратного интеграла.

Для того чтобы вычислить численно интеграл (3.2), необходимо всю поверхность факела разбить на элементарные площадки ΔF_{ij} (см. рис. 3.2.), тогда приближенное значение интеграла вычисляется по формуле:

$$\varphi_{M_i} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{ij} \cdot \Delta F_{ij}, \quad (3.3)$$

где f_{ij} – подынтегральная функция, вычисляемая для каждой элементарной

площадки ΔF_{ij} , расположенной на поверхности факела.

Пример такого разбиения для конической поверхности приведен на рис. 3.2.

$$f_{ij} = \left(\frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{\pi \cdot r^2} \right)_{ij} \quad (3.4)$$

где β_1 и β_2 - углы между нормалью к соответствующей поверхности и направлением излучения

r - расстояние между F_1 и F_2 вдоль направления излучения.

Численное интегрирование элементарных коэффициентов излучения с объемной поверхности требует разработки соответствующего программного обеспечения. Хорошее качество прогнозов тепловых полей от факелов может быть получено при применении соответствующих вычислительных программ.

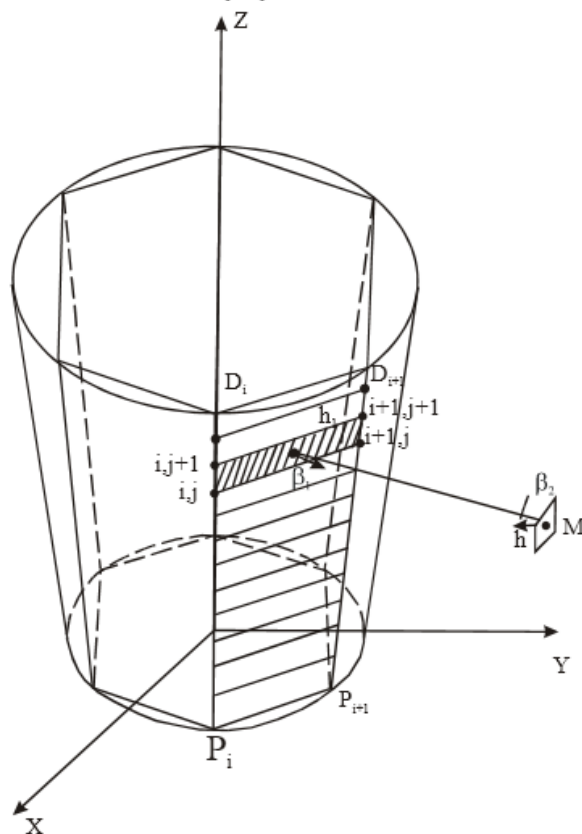


Рисунок 3.2 – Схема аппроксимации усеченного конуса пламени факела усеченной пирамидой

В отечественной литературе для расчета углового коэффициента используют аппроксимацию поверхности пламени плоскими фигурами (прямоугольник, треугольник, круг). Метод плоских проекций имеет методическую неопределенность в расположении эквивалентной плоскости проекции пламени относительно объекта, что может оказать влияние на величину коэффициента облученности близлежащих к пламени объектов.

Для достаточно простых поверхностей F_1 и специальным образом ориентированных поверхностей F_2 получен ряд аналитических выражений коэффициента φ , которые будут использованы ниже при упрощенных расчетах тепловых полей вокруг аварийных факелов на трассе МГ.

Для сценария «пожар в котловане» расчет угловых коэффициентов излучения на поверхности земли для горизонтально и вертикально ориентированных площадок-приемников излучения проводится при $x > \frac{D_z}{2}$ (см. рис.3.1) по следующим формулам:

$$\varphi_e = \frac{1}{\pi * H} * \left[\arctg\left(\frac{L}{\sqrt{H^2 - 1}}\right) - L * \arctg\left(\frac{\sqrt{H-1}}{\sqrt{H+1}}\right) + \frac{L * (X+Z)}{2 * \sqrt{X * Z}} * \arctg\left(\sqrt{\frac{(H-1) * X}{(H+1) * Z}}\right) \right] \quad (3.5)$$

$$\varphi_c = \frac{1}{\pi} * \left[\arctg\left(\sqrt{\frac{H+1}{H-1}}\right) - \frac{L^2 + H^2 - 1}{\sqrt{X * Z}} * \arctg\left(\sqrt{\frac{(H-1) * X}{(H+1) * Z}}\right) \right] \quad (3.6)$$

$$H = \frac{x}{R_{\text{жв}}}, L = \frac{L_{\text{ф}}}{R_{\text{жв}}}, X = (H+1)^2 + L^2, Z = (H-1)^2 + L^2; \quad (3.7)$$

Максимальный угловой коэффициент излучения определяется по соотношению:

$$\varphi_{\text{max}} = \sqrt{\varphi_e^2 + \varphi_c^2} \quad (3.8)$$

где x - расстояние по горизонтали от оси цилиндра до места нахождения приемника излучения, м.

В пределах круга диаметром D_z под колонным факелом предполагается, что происходит прямой огневой контакт с пламенем при тепловых нагрузках на поверхность объектов не менее 200 кВт/м².

Для сценария «струевое пламя» упрощенный расчет угловых коэффициентов излучения ведется в следующем приближении для каждого из настильных факелов (см. рис. 3.3).

Форма пламени в виде усеченного конуса заменяется на форму пламени в виде лежащего на земле полуцилиндра, который имеет три излучающие поверхности: две

концевых поверхности, через которые проходит ось цилиндра, S_{C1} и S_{C2} , и боковую поверхность $S_{\text{бок}}$. Вблизи места аварии размещаются два полуцилиндра, каждый из них аппроксимирует тепловое излучение от соответствующего пламени факела.

Радиус эквивалентного источника излучения цилиндрической формы $R_{\text{экв}}$, м, определяется по формуле:

$$R_{\text{экв}} = \frac{W_1 + W_2}{4}, \quad (3.9)$$

где W_1 – ширина малого основания усеченного конуса, м, определяется по формуле (3.10);

W_2 – ширина большого основания усеченного конуса, м, определяется по формуле (3.11).

Расчет угловых коэффициентов излучения проводится для точек поверхности земли расположенных на лучах $Л_1 \dots Л_6$ от боковой поверхности пламени, на лучах $Л_{C1}$ и $Л_{C2}$ от торцевых поверхностей цилиндра. Лучи $Л_1$, $Л_3$, $Л_4$ и $Л_6$ проводятся по нормали к оси цилиндра через боковую поверхность цилиндра, лучи $Л_2$ и $Л_5$ – по нормали к оси цилиндра на половине его длины. Лучи $Л_{C1}$ и $Л_{C2}$ проводятся по оси цилиндра в направлении от торцевых поверхностей, начало этих лучей лежит на торцевых поверхностях цилиндра.

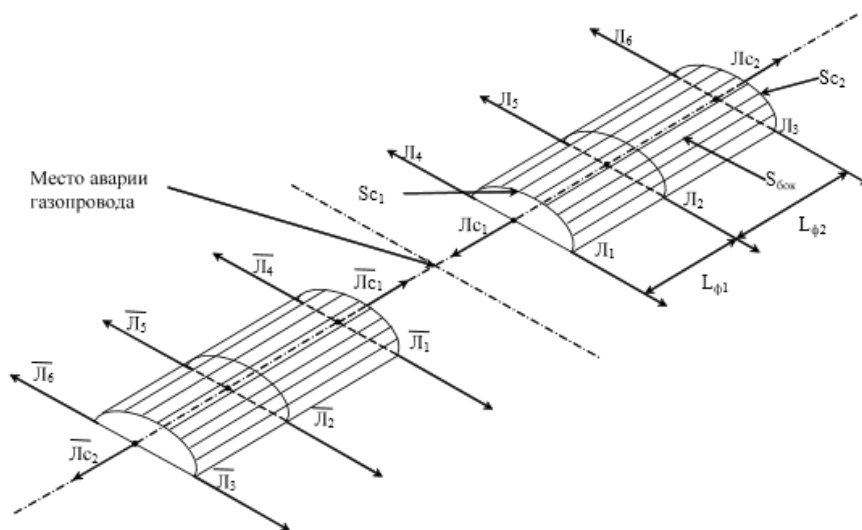


Рисунок 3.3 – Расчетная схема определения углового коэффициента излучения и тепловых потоков от факела при сценарии “струевое пламя”

Для лучей Л₁...Л₆ угловой коэффициент излучения от лежащего полуцилиндра для вертикально ориентированных площадок-приемников излучения φ_v и для горизонтально расположенных площадок расположенных на поверхности грунта рассчитывается по формулам:

$$\varphi_v = \frac{1}{2\pi H_1} \left[\arctg \left(\frac{L_1}{\sqrt{H_1^2 - 1}} \right) - L_1 \cdot \arctg \left(\frac{\sqrt{H_1 - 1}}{\sqrt{H_1 + 1}} \right) + \frac{L_1 \cdot (X_1 + Z_1)}{2 \cdot \sqrt{X_1 \cdot Z_1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_1 - 1) \cdot X_1}{(H_1 + 1) \cdot Z_1}} \right) \right] + \frac{1}{2\pi H_2} \left[\arctg \left(\frac{L_2}{\sqrt{H_2^2 - 1}} \right) - L_2 \cdot \arctg \left(\frac{\sqrt{H_2 - 1}}{\sqrt{H_2 + 1}} \right) + \frac{L_2 \cdot (X_2 + Z_2)}{2 \cdot \sqrt{X_2 \cdot Z_2}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_2 - 1) \cdot X_2}{(H_2 + 1) \cdot Z_2}} \right) \right] \quad (3.10)$$

$$\varphi_v = \frac{1}{2\pi} \left[\arctg \left(\sqrt{\frac{H_1 + 1}{H_1 - 1}} \right) - \frac{L_1^2 + H_1^2 - 1}{\sqrt{X_1 \cdot Z_1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_1 - 1) \cdot X_1}{(H_1 + 1) \cdot Z_1}} \right) \right] + \frac{1}{2\pi} \left[\arctg \left(\sqrt{\frac{H_2 + 1}{H_2 - 1}} \right) - \frac{L_2^2 + H_2^2 - 1}{\sqrt{X_2 \cdot Z_2}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(H_2 - 1) \cdot X_2}{(H_2 + 1) \cdot Z_2}} \right) \right] \quad (3.11)$$

$$H_1 = \frac{x}{R_{\text{жж}}}, L_1 = \frac{L_{\phi 1}}{R_{\text{жж}}}, X_1 = (H_1 + 1)^2 + L_1^2, Z_1 = (H_1 - 1)^2 + L_1^2;$$

$$H_2 = \frac{x}{R_{\text{жж}}}, L_2 = \frac{L_{\phi 2}}{R_{\text{жж}}}, X_2 = (H_2 + 1)^2 + L_2^2, Z_2 = (H_2 - 1)^2 + L_2^2;$$

где $R_{\text{жж}}$ - эффективный диаметр факела пламени, определяется по формуле (3.10);

x - расстояние по горизонтали от оси цилиндра до места расположения приемника излучения, м;

$L_{\phi 1}$ -длина полуцилиндра пламени с одной стороны от луча, проведенного по нормали к оси цилиндра, м;

$L_{\phi 2}$ -длина полуцилиндра пламени с другой стороны от луча, проведенного по нормали к оси цилиндра, м.

Для лучей Л_{С1} и Л_{С2} расчет угловых коэффициентов излучения при $x > R_{\text{жж}}$ проводится по формуле

$$\varphi_{\pi} = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\arctg \frac{R_{\text{жж}}}{x} - \frac{x \cdot R_{\text{жж}}}{x^2 + R_{\text{жж}}^2} \right) \quad (3.12)$$

В силу симметрии течения удобно расчеты проводить только для точек расположенных на лучах Л₁, Л₂ и Л_{С1}. Для луча Л₁ имеем $L_{\phi 1} = 0$ и $L_{\phi 2} = 0.8 \cdot L_B$. Для луча Л₂ имеем $L_{\phi 1} = L_{\phi 2} = 0.4 \cdot L_B$. Результаты полученные для луча Л₁ легко переносятся на лучи Л₃, Л₄ и Л₆; результаты для луча Л₂ - на луч Л₅; результаты для луча Л_{С1} - на луч Л_{С2}.

На поверхности земли под нижней поверхностью полуцилиндра предполагается прямой огневой контакт с пламенем при тепловых нагрузках на поверхность объектов не менее 250 кВт/м^2 .

Расчет угловых коэффициентов от второго настильного факела и дальнейший расчет тепловых потоков в противоположном направлении от места разрыва газопровода строится аналогичным способом.

Коэффициент пропускания лучистой энергии атмосферой τ , б/р, зависит, главным образом, от концентрации водяных паров и углекислоты в атмосфере и определяется по эмпирическим формулам (3.13) и (3.14):

$$\tau = 0,96 - 0,121g R_i, \quad \text{при } \eta = 50\%, \quad (3.13)$$

$$\tau = 0,96 - 10^{-2} \cdot 2^{\frac{1}{2}g R_i} 1g R_i, \quad \text{при } \eta = 100\%, \quad (3.14)$$

где R_i – расстояние между источником излучения (центром источника излучения) и облучаемым объектом, м, считается по формуле;

η – относительная влажность, %, определяется из метеорологических данных.

Определение зон термического поражения производится следующим образом:

1. На рассмотренных лучах вокруг аварийного пожара на МГ строятся графики изменения тепловых потоков для горизонтально расположенных единичных площадок.
2. Из таблиц А.11 и А.12 берутся значения критических тепловых потоков для рассматриваемого реципиента (людей, оборудования, зданий и сооружений и их элементов, компонент природной среды).
3. По значению критического потока на графиках изменения тепловых потоков для каждого из лучей определяются соответствующие ему значения координат на поверхности земли.
4. Полученные значения координат наносятся на план местности, после чего строится зона термического поражения реципиента рассматриваемого вида.

1.3. Ударная волна при аварийном разрыве газопровода

4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАЗМЕРОВ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ПРИ АВАРИЙНОМ РАЗРЫВЕ ГАЗОПРОВОДА

Статистика аварий на магистральных газопроводах показывает, что в числе поражающих факторов значительной части аварий присутствует ударная волна. При этом возникновение ударных волн связано с разрывом тела трубы под действием внутреннего давления, сопровождающимся выбросом газа и его дефлаграционным горением.

4.1 Расчет величины избыточного давления на фронте ударной волны при разрыве газопровода

В момент разрушения участка газопровода реализуется сначала только энергия сжатого газа. Воспламенение газа может произойти лишь с определенной задержкой и уже вне полости трубопровода, после смешения газа с воздухом до определенных концентраций (5-15 объемных процентов) и при одновременном появлении источника зажигания с необходимым энергетическим потенциалом.

Для получения верхней оценки уровня избыточного давления, возникающей при разрушении газопровода, принимаются следующие положения:

1. Процессы расширения сжатого газа и его (возможного) воспламенения и сгорания в атмосфере не синхронизированы, а смещены во времени (по крайней мере, на величину периода положительной фазы сжатия (τ_+) первичного процесса), т.е. энергии этих процессов при расчетах энергетического потенциала не суммируются.
2. Энергетические потенциалы указанных процессов могут быть выражены, согласно существующей практике, через тротиловый эквивалент взрыва конденсированного взрывчатого вещества (ВВ).

Для расчета характеристик (первичной) воздушной волны сжатия, вызванной расширением природного газа, в данном случае используются широко применяемые в инженерной практике соотношения М.А. Садовского для сферической ударной волны ВВ в свободном пространстве [11, 12] (местоположение источника энергии при наземном взрыве учитывается при определении M_{THT}):

Избыточное давление на фронте волны (МПа) определяется по формуле:

$$\Delta P_{\phi p} = \frac{0,084}{\bar{R}} + \frac{0,27}{\bar{R}^2} + \frac{0,7}{\bar{R}^3}; \text{ при } \bar{R} \geq 0,25 \quad (4.1)$$

где $\bar{R}$ - безразмерное расстояние от места разрыва газопровода, определяется по формуле (4.2).

Безразмерное расстояние определяется по формуле:

$$\bar{R} = \frac{R}{M_{THT}^{1/3}} \quad (4.2)$$

где R – расстояние от места разрыва газопровода до точки, в которой необходимо определить величину избыточного давления реципиента, м;

M_{THT} – тротиловый эквивалент, кг, газа, участвующего в образовании волны сжатия, определяется по формуле (4.3).

Для полусферической (коэффициент 2) волны давления имеем массу (кг) «тротилового эквивалента» в виде:

$$M_{THT} = 2 \cdot 0,95 \cdot \eta \cdot \frac{E_r}{Q_{THT}} \quad (4.3)$$

где

η – коэффициент энергии, затрачиваемой на образование ударной волны, определяется из соотношения (4.5)

E_r – энергия газа, Дж, участвующего в аварии, определяется по формуле (4.4);

Q_{THT} – удельный тепловой эквивалент тротила на единицу массы, принимается равным $-Q_{THT} = 4,24 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Энергия газа E_r , Дж, заключенного в участке трубопровода длиной $L_{разр}$ рассчитывается по формуле:

$$E_{r0} = \frac{\pi D_{тр}^2 (P_0 - P_{ат})}{4(\gamma_g - 1)} L_{разр} \quad (4.4)$$

где

$D_{тр}$ – внутренний диаметр трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода;

P_0 – давление в месте разрыва газопровода, Па, определяется по формуле (1.10);

$P_{ат}$ – атмосферное давление, Па, принимается равным 101300 Па;

γ_g – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси показатель адиабаты определяется по формуле (1.34);

$L_{разр}$ – длина разрыва газопровода, м, определяется из сценария аварии, либо соотношения (4.6).

По данным Московского государственного строительного университета (МГСУ), [11] для учета затрат энергии на образование воронки в грунте для «наземного взрыва» при расчете эквивалентной массы конденсированного ВВ необходимо вводить поправочный коэффициент η , равный: для слабо связанных средних грунтов – 0,65; для плотных суглинков и глин – 0,8.

Коэффициент энергии, затрачиваемый на образование ударной волны:

$$\eta = \begin{cases} 0,65 - \text{для слабосвязанных и средних грунтов} \\ 0,8 - \text{для плотных суглинков и глин} \end{cases} \quad (4.5)$$

Статистика аварий показывает наличие корреляции между протяженностью разрыва ($L_{\text{разр}}$) и технологическими параметрами газопровода, а именно диаметром трубы. Поэтому для расчетов, рекомендуется брать следующую зависимость длины разрывов от диаметра трубопровода:

Диаметр трубопровода $D_{\text{тр}}$, мм	Длина разрыва $L_{\text{разр}}$, м
1400	50
1200	70
1000	54
800	25
700	39
500	16
400	13
200	6,6
150	5

(4.6)

4.2 Определение размеров зон воздействия избыточного давления

Для определения размеров опасных зон рассчитываются значения ΔP_{ϕ} на различных расстояниях R от точки разрыва газопровода. Полученные значения сравниваются с пороговыми значениями $\Delta P_{\phi}^{\text{пор}}$, приведенными в таблицах А.14÷А.32, на основании чего делаются выводы об опасности.

1.4. Осколочное поражение при аварийном разрыве газопровода

5 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗОН ВОЗМОЖНОГО ОСКОЛОЧНОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРИ РАЗРЫВЕ ГАЗОПРОВОДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

5.1 Оценка осколочного действия при разрыве сосудов, работающих под давлением

При разрыве газопроводов наряду с термическим воздействием представляет опасность действие разлетающихся фрагментов оболочки трубопровода (осколков).

При разрыве газопроводов количество образующихся осколков, их форма и направление полета являются величинами случайными, направление движения осколка в любую сторону является равновероятным. Исходя из этого, координатный закон рассеивания осколков по площади при разрыве газопровода в одной точке принимается круговым.

В качестве критерия, определяющего размеры зоны возможного осколочного поражения, выступает максимальный радиус разлета осколков. Согласно статистике при разрыве газопроводов образуется, как правило, не более 5-6 осколков. В силу небольшого количества образующихся осколков и большой площади их рассеивания вероятность поражения осколками отдельно стоящих людей является маловероятным событием.

Количественно размеры опасной зоны определяются максимальной дальностью полета образовавшихся осколков. Дальность полета осколка зависит от начальной скорости, сообщаемой осколку при разрыве трубопровода.

5.2 Расчет размеров зон возможного осколочного поражения, образующихся при разрыве газопровода

Основным фактором, влияющим на дальность полета осколка, является его начальная скорость, которая, в свою очередь, зависит от величины давления в газопроводе в момент разрыва, температуры газа, плотности грунта и глубины заложения труб.

Настоящая методика предназначена для определения максимально возможных размеров зон осколочного поражения. Для этого в оценочных расчетах принимается, что начальный угол полета θ_0 обеспечивает максимальную дальность полета осколка. Движение осколка после вскрытия траншеи и отрыва от тела трубы происходит в воздухе.

Расчет размеров зон возможного осколочного поражения от разрыва газопровода производится при следующих допущениях:

- диаметр и толщина стенки трубы постоянны на всей протяженности расчетного участка газопровода;
- считаются известными длина расчетного участка, давление и температура газа в начальной и конечной точках;

- полет осколков происходит в воздухе, плотность которого считается постоянной и равной $1,293 \text{ кг/м}^3$ (0°C);
- подъемная сила при движении осколка в пространстве отсутствует;
- материалом стенки трубы является сталь.

На основании кругового закона рассеивания осколков принимается, что зона осколочного поражения геометрически будет определяться окружностью, радиус которой равен расчетной максимальной дальности полета осколка X_{max} , а центром является точка разрыва газопровода.

Максимальная дальность полета осколка X_{max} , м, определяется по эмпирической формуле:

$$X_{max} = \frac{\rho_m \cdot y_{оск} \cdot \delta}{\rho_a \cdot C_D}, \quad (5.1)$$

где ρ_m – плотность металла трубы, кг/м^3 , определяется из данных о технологических параметрах газопровода;

$y_{оск}$ – параметр, б/р, определяется по формуле (5.10);

δ – толщина стенки трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода;

ρ_a – плотность воздуха при $P_{ат}$ и 273 К , кг/м^3 , определяется из таблицы А.1;

C_D – коэффициент лобового сопротивления, б/р, принимается равным 0,7.

Для определения начальной скорости осколка предполагается, что движение грунта и оболочки трубы происходит в плоскости, перпендикулярной оси газопровода. Принимается, что ось газопровода заглублена на глубину H , радиус трубы – $D_{тр}$, давление в трубе – P_0 (см. рисунок 5.1). Грунт выбрасывается вверх в секторе 2φ .

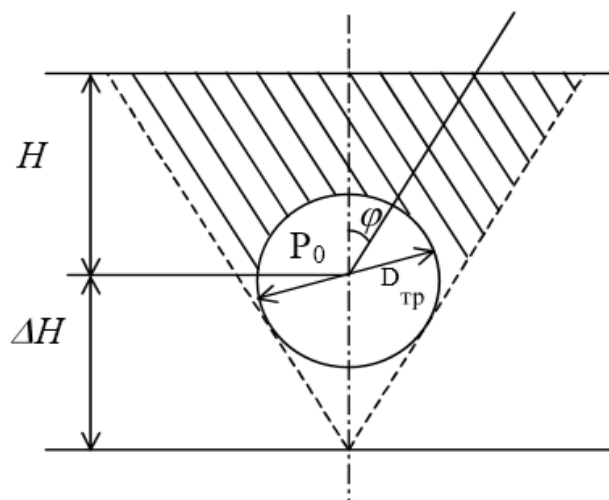


Рисунок 5.1 - Расчетная схема метания грунта сжатым газом.

Предположим, что на выброс грунта и оболочки трубы из траншеи расходуется часть потенциальной энергии сжатого газа. Исходя из закона сохранения энергии, выражение для определения начальной скорости осколков записывается в виде:

$$u_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \eta \cdot E_{г0}}{(M_{грунт} + M_{тр})}} \quad (5.2)$$

где

η - коэффициент, (б/р), определяющий какая доля энергии сжатого газа расходуется на метание грунта и осколков трубы, определяется по формуле (5.7);

$E_{г0}$ - энергия газа на единицу длины трубопровода, Дж/м, определяется по формуле (5.3);

$M_{грунт}$ - масса грунта на единицу длины трубопровода, кг/м, выбрасываемого при разрыве трубы, определяется по формуле (5.4);

$M_{тр}$ - масса осколков трубы на единицу длины, кг/м, выбрасываемых при разрыве, определяется по формуле (5.6).

Энергия газа $E_{г0}$ на единицу длины, Дж/м, рассчитывается по формуле:

$$E_{г0} = \frac{\pi D_{тр}^2 (P_0 - P_{атм})}{4(\gamma_g - 1)}, \quad (5.3)$$

где $D_{тр}$ - внутренний диаметр трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода;

P_0 - давление в месте разрыва газопровода, Па, определяется по формуле (1.10);

$P_{атм}$ – атмосферное давление, Па, принимается равным 101300 Па;

γ_g – показатель адиабаты газа, б/р, определяется из таблицы А.1, для газовой смеси
показатель адиабаты определяется по формуле (1.34).

Масса грунта на единицу длины трубопровода, кг/м, выбрасываемого при разрыве трубы, определяется по формуле:

$$M_{грунт} \approx \rho_{грунт} \cdot \left[(H + \Delta H)^2 \cdot \text{tg}(\varphi) - \frac{\pi D_{тр}^2}{8} - \left(\frac{\Delta H \cdot D}{2} \right) \right] \quad (5.4)$$

где

$D_{тр}$ – внутренний диаметр трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода;

H – расстояние от поверхности земли до оси газопровода, м, определяется из технологических характеристик газопровода;

ΔH – расстояние от оси газопровода до вершины треугольника, лежащей на продолжении стенок котлована, м, определяется по формуле (5.5);

φ – угол раскрытия котлована, град, определяется по формуле (5.8);

ρ – плотность грунта, кг/м³, определяется из зависимости(5.9).

Расстояние от оси газопровода до вершины треугольника, лежащей на продолжении стенок котлована, м, определяется по формуле:

$$\Delta H = \frac{D_{тр}}{2 \cdot \text{tg}(\varphi)} \quad (5.5)$$

где

$D_{тр}$ – внутренний диаметр трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода;

φ – угол раскрытия котлована, град, определяется по формуле (5.8);

Масса осколков трубы на единицу длины, кг/м, выбрасываемых при разрыве, определяется по формуле:

$$M_{тр} = \rho_{ст} \cdot \pi \cdot D_{тр} \cdot \delta \quad (5.6)$$

где

$D_{тр}$ – внутренний диаметр трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода;

$\rho_{ст}$ – плотность металла трубы, кг/м³, принимается равной 7800 кг/м³;

δ – толщина стенки трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода.

По данным Московского государственного строительного университета (МГСУ) [11], часть энергии взрыва конденсированного ВВ, идущая на выброс грунта из воронки, определяется из следующего соотношения:

$$\eta = \begin{cases} 0.2 & \text{– для плотных суглинков и глин} \\ 0.3 \div 0.35 & \text{– для средних грунтов} \end{cases} \quad (5.7)$$

Для консервативной оценки рекомендуется принимать значение $\eta = 0.35$.

Значение угла сектора выброса грунта зависит от типа грунта, рекомендуется брать следующие значения:

$$\varphi = \begin{cases} 30^\circ & \text{– для плотных суглинков и глин} \\ 45^\circ & \text{– для средних по плотности грунтов} \\ 60^\circ & \text{– для песков и легких супесей} \end{cases} \quad (5.8)$$

Значение плотности грунта, кг/м³, определяется исходя из типа грунта:

$$\rho = \begin{cases} 1750 \text{ кг/м}^3 & \text{– для плотных суглинков и глин} \\ 1625 \text{ кг/м}^3 & \text{– для средних по плотности грунтов} \\ 1500 \text{ кг/м}^3 & \text{– для песков и легких супесей} \end{cases} \quad (5.9)$$

Значение параметра $y_{оск}$, б/р, определяется по формуле (5.10):

$$y_{оск} = \begin{cases} x_{оск} & \text{при } x_{оск} \leq 0,1 \\ \frac{x_{оск}^{0,844}}{1,428} & \text{при } 0,1 < x_{оск} \leq 1 \\ \frac{x_{оск}^{0,517}}{1,428} & \text{при } 1 < x_{оск} \leq 10 \\ \ln(x_{оск}) & \text{при } x_{оск} > 10 \end{cases} \quad (5.10)$$

где

$x_{оск}$ – параметр, б/р, определяется по формуле (5.11).

Значение параметра $x_{оск}$, б/р, определяется по формуле:

$$x_{оск} = \frac{\rho_{в} C_D u_0^2}{g \rho_{м} \delta}, \quad (5.11)$$

где

$\rho_{в}$ – плотность воздуха при $P_{атм}$ и 273 К, кг/м³, определяется из таблицы А.1;

C_D – коэффициент лобового сопротивления, б/р, принимается равным 0,7;

u_0 – начальная скорость осколка, м/с, определяется по формуле (5.2);

g – ускорение свободного падения, м/с², принимается равным 9,8 м/с²;

$\rho_{м}$ – плотность металла трубы, кг/м³, принимается равной 7800 кг/м³;

δ – толщина стенки трубы, м, определяется из данных о технологических параметрах газопровода.

2. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов

2.1. ПРИЛОЖЕНИЕ В. Тепловое излучение при пожаре пролива

В.1 Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², рассчитывают по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (\text{В.1})$$

где E_f — среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м²;

F_q — угловой коэффициент облученности;

τ — коэффициент пропускания атмосферы.

В.2 E_f принимают на основе имеющихся экспериментальных данных. Для некоторых жидких углеводородных топлив указанные данные приведены в таблице В. 1.

Таблица В.1— Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени в зависимости от диаметра очага и удельная массовая скорость выгорания для некоторых жидких углеводородных топлив

Топливо	E_f , кВт/м ² , при d , м					m , кг/(м ² · с)
	10	20	30	40	50	
СПГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,1
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельное топливо	40	32	25	21	18	0,04
Нефть	25	19	15	12	10	0,04
Примечание— Для диаметров очага менее 10 м или более 50 м следует принимать E_f такой же, как и для очагов диаметром 10 м и 50 м соответственно						

При отсутствии данных допускается E_f принимать равной 100 кВт/м² для СУГ, 40 кВт/м² для нефтепродуктов.

8.3 Рассчитывают эффективный диаметр пролива d , м, по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad (\text{В.2})$$

где S — площадь пролива, м².

8.4 Рассчитывают высоту пламени H , м, по формуле

$$H = 42d \left(\frac{m}{\rho_B \sqrt{gd}} \right)^{0,61}, \quad (\text{В.3})$$

где m — удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м · с);

$\rho_{\text{в}}$ — плотность окружающего воздуха, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

8.5 Определяют угловой коэффициент облученности F_q по формуле

$$E_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (\text{В.4})$$

$$\text{где } F_V = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S_1} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S_1^2 - 1}} \right) + \frac{h}{S_1} \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S-1}{S_1+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S_1-1)}{(A-1)(S_1+1)}} \right) \right\} \right], \quad (\text{В.5})$$

$$\text{где } A = (h^2 + S_1^2 + 1) / 2S_1, \quad (\text{В.6})$$

$$S_1 = 2r/d \quad (r \text{ — расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта}), \quad (\text{В. 7})$$

$$h = 2H/d; \quad (\text{В.8})$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[\frac{(B-1)/S_1}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1)(S_1-1)}{(B-1)(S_1+1)}} \right) - \frac{(A-1)/S_1}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S_1-1)}{(A-1)(S_1+1)}} \right) \right], \quad (\text{В.9})$$

$$B = (1+S^2) / (2S), \quad (\text{В.10})$$

В.6 Определяют коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} (r - 0,5 d)] \quad (\text{В.11})$$

2.2. ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Тепловое излучение «огненного шара»

Д. 1 Расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара» q , кВт/м², проводят по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \quad (\text{Д.1})$$

где E_f — среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м²;

— угловой коэффициент облученности;

τ — коэффициент пропускания атмосферы.

Д.2 E_f определяют на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать E_f равным 450 кВт/м².

Д.3 F_q рассчитывают по формуле

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4[(H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2]^{1,5}}, \quad (\text{Д.2})$$

где H — высота центра «огненного шара», м;

D_s — эффективный диаметр «огненного шара», м;

r — расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара», м.

Д.4 Эффективный диаметр «огненного шара» D_s рассчитывают по формуле

$$D_s = 5,33 m^{0,327}, \quad (Д.3)$$

где m — масса горючего вещества, кг.

Д.5 H определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать H равной $D_s/2$.

Д.6 Время существования «огненного шара» t_s , с, рассчитывают по формуле

$$t_s = 0,92 m^{0,303}. \quad (Д.4)$$

Д.7 Коэффициент пропускания атмосферы τ рассчитывают по формуле

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2)]. \quad (Д.5)$$

2.3. ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Давление при сгорании газопаровоздушных смесей в открытом пространстве

Е. 1 Исходя из рассматриваемого сценария аварии, определяют массу m , кг, горючих газов и (или) паров, вышедших в атмосферу из технологического аппарата (приложение А).

Е.2 Избыточное давление Δp , кПа, развиваемое при сгорании газопаровоздушных смесей, рассчитывают по формуле

$$\Delta p = p_0 (0,8 m_{пр}^{0,33} / r + 3 m_{пр}^{0,66} / r^2 + 5 m_{пр} / r^3), \quad (Е. 1)$$

где p_0 — атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

r — расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м;

$m_{пр}$ — приведенная масса газа или пара, кг, рассчитанная по формуле

$$m_{пр} = (Q_{сг} / Q_0) m_{г,п} Z,$$

где $Q_{сг}$ — удельная теплота сгорания газа или пара, Дж/кг;

Z — коэффициент участия, который допускается принимать равным 0,1;

Q_0 — константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$m_{г,п}$ — масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

Е.3 Импульс волны давления i , Па · с, рассчитывают по формуле

$$i = 123 m_{пр}^{0,66} / r. \quad (Е.3)$$

Пример — Рассчитать избыточное давление и импульс волны давления при выходе в атмосферу пропана, хранящегося в сферической емкости объемом 600 м^3 , на расстоянии 500 м от нее.

Данные для расчета

Объем емкости 600 м^3 . Температура 20°C . Плотность сжиженного пропана 530 кг/м^3 . Степень заполнения емкости 80 % (по объему). Удельная теплота сгорания пропана $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг. Принимается, что в течение времени, необходимого для выхода сжиженного газа из емкости, весь пропан испаряется.

Расчет

Находим приведенную массу $m_{пр}$ по формуле (Е.2):

$$m_{пр} = 4,6 \cdot 10^7 / 4,52 \cdot 10^6 \cdot (0,8 \cdot 530 \cdot 600) \cdot 0,1 = 2,59 \cdot 10^5 \text{ кг.}$$

Находим избыточное давление Δp по формуле (Е.1)

$$\Delta p = 101 [0,8 (2,59 \cdot 10^5)^{0,33} / 500 + 3 (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500^2 + 5 (2,59 \cdot 10^5) / 500^3] = 16,2 \text{ кПа.}$$

Находим импульс волны давления i по формуле (Е.3):

$$i = 123 (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500 = 1000 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

2.4. ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Давление при взрыве резервуара с перегретой жидкостью

Ж. 1 При попадании замкнутого резервуара со сжиженным газом или жидкостью в очаг пожара может происходить нагрев содержимого резервуара до температуры, существенно превышающей нормальную температуру кипения, с соответствующим повышением давления. За счет нагрева несмоченных стенок сосуда уменьшается предел прочности их материала, в результате чего при определенных условиях оказывается возможным разрыв резервуара с возникновением волн давления и образованием «огненного шара». Расчет параметров «огненного шара» изложен в приложении Д. Порядок расчета параметров волн давления изложен ниже. Разрыв резервуара в очаге пожара с образованием волн давления получил название BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion — взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости).

Ж. 2 Возможность возникновения BLEVE для конкретного вещества, хранящегося в замкнутой емкости, определяют следующим образом.

Ж.2.1 Рассчитывают δ по формуле

$$\delta = Cr (T - T_{кип}) / L, \quad (\text{Ж.1})$$

где Cr — удельная теплоемкость жидкой фазы, Дж/кг;

T — температура жидкой фазы, соответствующая температуре насыщенного пара при давлении срабатывания предохранительного клапана, К;

$T_{кип}$ — температура кипения вещества при нормальном давлении. К;

L — удельная теплота испарения при нормальной температуре кипения $T_{кип}$ Дж/кг.

Ж.2.2 Если $\delta < 0,35$, BLEVE не происходит. При $\delta \geq 0,35$ вероятность возникновения данного явления велика.

Ж.3 Параметрами волны давления, образующейся при BLEVE, являются избыточное давление в положительной фазе волны Δp и безразмерный импульс положительной фазы волны i .

Δp , кПа, и i , Па·с, рассчитывают по формулам:

$$\Delta p = p_0 (0,8 m_{пр}^{0,33} / r + 3 m_{пр}^{0,66} / r^2 + 5 m_{пр} / r^3), \quad (\text{Ж.2})$$

$$i = 123 m_{пр}^{0,66} / r, \quad (\text{Ж.3})$$

где p_0 — атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

r — расстояние до разрушающегося технологического оборудования, м;

$m_{пр}$ — приведенная масса, кг, рассчитанная по формуле

$$m_{пр} = E_{из} / Q_0. \quad (\text{Ж.4})$$

где $E_{из}$ — энергия, выделяющаяся при изэнтропическом расширении среды, находящейся в резервуаре, Дж;

Q_0 — константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Ж.4 $E_{из}$, Дж, рассчитывают по формуле

$$E_{из} = C_{эфф} m (T - T_{кип}). \quad (Ж.5)$$

где m — масса вещества в резервуаре, кг;

$C_{эфф}$ — константа, равная 500 Дж/(кг·К);

T — температура вещества в резервуаре в момент его взрыва, К;

$T_{кип}$ — температура кипения вещества при атмосферном давлении, К.

При наличии в резервуаре предохранительного клапана T , К, допускается рассчитывать по формуле

$$T = \frac{B}{A - \lg p_k} - C_a + 273,15, \quad (Ж.6)$$

где A , B , C_a — константы Антуана вещества;

p_k — давление срабатывания предохранительного клапана, кПа. Константа A должна соответствовать давлению, выраженному в килопаскалях.

3. РД 03-409-01 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

3.1. Взрыв топливно-воздушной смеси

Утверждена
постановлением Госгортехнадзора
России от 26.06.01 N 25
Введена в действие
постановлением Госгортехнадзора
России от 26.06.01 N 25

Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей

(РД 03-409-01)

(С изменениями и дополнениями)

Введение

Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (далее - Методика) позволяет провести приближенную оценку различных параметров воздушных ударных волн и определить вероятные степени поражения людей и повреждений зданий при авариях со взрывами топливно-воздушных смесей.

Методика рекомендуется для использования:

при определении масштабов последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей;

при разработке и экспертизе деклараций безопасности опасных производственных объектов.

Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей разработана Научно-техническим центром по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России (НТЦ "Промышленная безопасность") совместно со специалистами ИХФ РАН. В Методике использованы действующие стандарты, отчеты о НИР, выполненные НТЦ "Промышленная безопасность", и другие источники [1-15].

В разработке Методики принимали участие д.ф.-м.н. Б.Е. Гельфанд, д.ф.-м.н. С.Б. Дорофеев, д.т.н. В.И. Сидоров, д.т.н. А.С. Печеркин, к.ф.-м.н. А.М. Бартенев, к.ф.-м.н. В.Ф. Мартынюк, к.ф.-

м.н. М.В. Лисанов, к.т.н. А.А. Агапов, к.ф.-м.н. В.П. Сидоров, С.И. Сумской.

Принятое сокращение

ТВС - топливно-воздушная смесь.

Используемые обозначения

$C_{\text{з}}$ - скорость звука в воздухе, м/с;

$C_{\text{г}}$ - концентрация горючего вещества в облаке ТВС, кг/м^3 ;

$C_{\text{ст}}$ - стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом, кг/м^3 ;

E - эффективный энергозапас ТВС, Дж;

I - импульс волны давления, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

I_{+} - импульс фазы сжатия, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

I_{-} - импульс фазы разрежения, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$I_{\text{г}+}$ - импульс отраженной волны давления, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$I_{\text{г}-}$ - импульс отраженной волны разрежения, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$I_{\text{ж}}$ - безразмерный импульс фазы сжатия;

$K_{\text{и}}$ - декремент затухания;

$K_{\text{г}}$ - декремент изменения давления в отраженной волне;

$M_{\text{г}}$ - масса горючего вещества, содержащегося в облаке ТВС, кг;

ΔP - избыточное давление, Па;

ΔP_{+} - амплитуда волны давления, Па;

ΔP_- - амплитуда волны разрежения, Па;

ΔP_+ - амплитуда отраженной волны давления, Па;

ΔP_r - амплитуда отраженной волны разрежения, Па;

P_0 - атмосферное давление, Па;

P_x - безразмерное давление;

Pr_1 - пробит-функция повреждений стен промышленных зданий;

Pr_2 - пробит-функция разрушения промышленных зданий;

Pr_3 - пробит-функция длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна);

Pr_4 - пробит-функция разрыва барабанных перепонки у людей;

Pr_5 - пробит-функция отброса людей волной давления;

R - расстояние от центра облака ТВС, м;

R_x - безразмерное расстояние от центра облака ТВС;

V_r - скорость видимого фронта пламени, м/с;

W - тротиловый эквивалент взрыва ТВС, кг;

m - средняя масса человека, кг;

q_r - удельная теплота сгорания газа, Дж/кг;

t - время процесса, с;

β - корректировочный параметр, характеризующий фугасные свойства ТВС;

λ - параметрическое расстояние;

σ - степень расширения продуктов сгорания;

t_+ - длительность фазы сжатия, с;

t_- - длительность фазы разрежения, с;

t_{r+} - длительность отраженной волны давления, с;

t_{r-} - длительность отраженной волны разрежения, с.

1. Общие положения

1.1. Методика предназначена для количественной оценки параметров воздушных ударных волн при взрывах топливно-воздушных смесей, образующихся в атмосфере при промышленных авариях. При рассмотрении предполагается частичная разгерметизация или полное разрушение оборудования, содержащего горючее вещество в газообразной или жидкой фазе, выброс этого вещества в окружающую среду, образование облака ТВС, инициирование ТВС, взрывное превращение (горение или детонация) в облаке ТВС.

1.2. Методика позволяет определять вероятные степени поражения людей и степени повреждений зданий от взрывной нагрузки при авариях со взрывами топливно-воздушных смесей.

1.3. Предполагается, что в образовании облака ТВС участвует горючее вещество одного вида, в противном случае (для смеси нескольких горючих веществ) характеристики ТВС, используемые при расчетах параметров ударных волн, определяются отдельно.

1.4. Исходными данными для расчета параметров ударных волн при взрыве облака ТВС являются:

характеристики горючего вещества, содержащегося в облаке ТВС;

агрегатное состояние ТВС (газовая или гетерогенная);

средняя концентрация горючего вещества в смеси $C_{г}$;

стехиометрическая концентрация горючего газа с воздухом $C_{ст}$;

масса горючего вещества, содержащегося в облаке, $M_{г}$ (если эта величина неизвестна, то ее расчет рекомендуется проводить согласно приложению 1 [15]);

удельная теплота сгорания горючего вещества q_{Γ} ;

информация об окружающем пространстве.

1.5. Основными структурными элементами алгоритма расчетов (рис. 1) являются:

определение массы горючего вещества, содержащегося в облаке;

определение эффективного энергозапаса ТВС;

определение ожидаемого режима взрывного превращения ТВС;

расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн для различных режимов;

определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;

оценка поражающего воздействия взрыва ТВС.

1.6. В приложении к Методике приведены примеры расчетов.

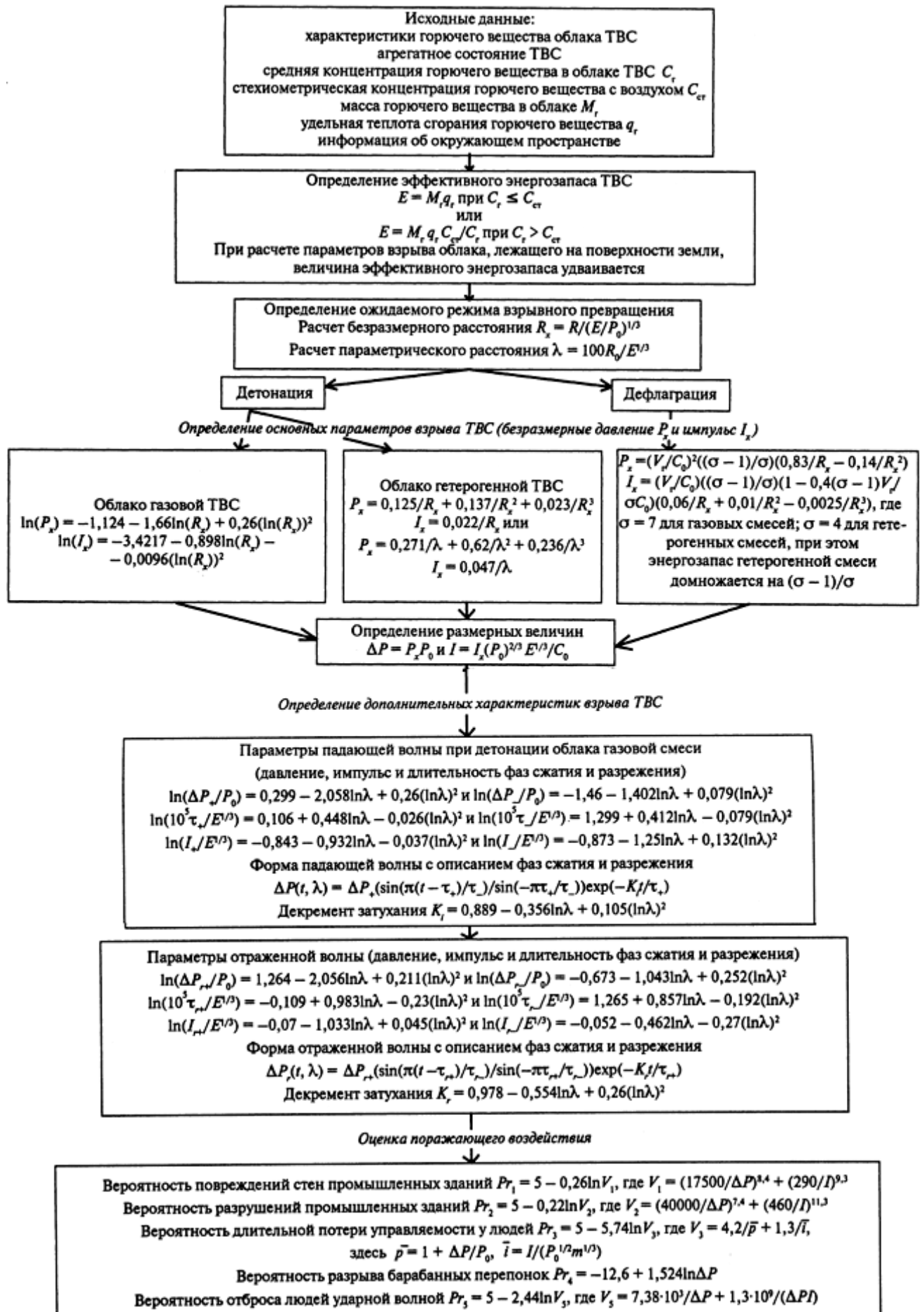


Рис. 1. Алгоритм расчета последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей

2. Определение основных параметров взрыва ТВС

2.1. Определение эффективного энергозапаса ТВС

Эффективный энергозапас горючей смеси определяется по соотношению

$$E = M_{\Gamma} q_{\Gamma} \text{ при } C_{\Gamma} \leq C_{ст} \quad (1)$$

или

$$E = M_{\Gamma} q_{\Gamma} C_{ст} / C_{\Gamma} \text{ при } C_{\Gamma} > C_{ст}.$$

При расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается. Для оценки объема газового облака ТВС можно воспользоваться простым соотношением:

$$V = M_{\Gamma} / C_{ст}.$$

Примечания: 1. Стехиометрическая концентрация горючего вещества в ТВС определяется из справочных данных или рассчитывается отдельно.

2. В случае если определение концентрации горючего вещества в смеси затруднено, в качестве величины C_{Γ} в соотношении (1) принимается концентрация, соответствующая нижнему концентрационному пределу воспламенения горючего газа.

3. Теплота сгорания горючего газа q_{Γ} в ТВС берется из справочных данных или оценивается по формуле

$$q_{\Gamma} = 44 \beta \text{ МДж/кг.}$$

Корректировочный параметр β для наиболее распространенных в промышленном производстве опасных веществ определяется из табл. 1.

4. Масса горючего газа, содержащегося в облаке ТВС, может задаваться в качестве исходного параметра или определяться исходя из условий развития аварий. При оценке последствий аварий массу $M_{г}$ рекомендуется определять согласно [15].

Таблица 1

Классификация горючих веществ по степени чувствительности

Класс 1		Класс 2		Класс 3		Класс 4	
Особо чувствительные вещества		Чувствительные вещества		Средне-чувствительные вещества		Слабо-чувствительные вещества	
(Размер детонационной ячейки менее 2см)		(Размер детонационной ячейки от 2 до 10 см)		(Размер детонационной ячейки от 10 до 40 см)		(Размер детонационной ячейки больше 40 см)	
1	2	3	4	5	6	7	8
	β		β		β		β
Ацетилен	1,1	Акрилонитрил	0,67	Ацетальдегид	0,56	Аммиак	0,42
Винилацетилен	1,03	Акролеин	0,62	Ацетон	0,65	Бензол	0,33
Водород	2,73	Бутан	1,04	Бензин	1	Декан	1
Гидразин	0,44	Бутилен	1	Винилацетат	0,51	Дизтопливо	1
Изопропилнитрат	0,41	Бутадиен	1	Винилхлорид	0,42	о-дихлорбензол	0,42
Метилацетилен	1,05	1,3-пентадиен	1	Гексан	1	Додекан	1
Нитрометан	0,25	Пропан	1,05	Генераторный газ	0,33	Керосин	1
Окись пропилена	0,7	Пропилен	1,04	Изооктан	1	Метан	1,14

Окись этилена	0,62	Сероуглерод	0,32	Метиламин	0,7	Метилбензол	1
Этилнитрат	0,3	Этан	1,08	Метилацетат	0,53	Метилмеркаптан	0,53
		Этилен	1,07	Метилбутилкетон	0,79	Метилхлорид	0,12
		ШФЛУ	1	Метилпропилкетон	0,76	Нафталин	0,91
		Диметиловый эфир	0,66	Метилэтилкетон	0,71	Окись углерода	0,23
		Дивиниловый эфир	0,77	Октан	1	Фенол	0,92
		Метилбутиловый эфир	-	Пиридин	0,77	Хлорбензол	0,52
		Диэтиловый эфир	0,77	Сероводород	0,34	Этилбензол	0,90
		Диизопропиловый эфир	0,82	Метиловый спирт	0,52	Дихлорэтан	0,25
				Этиловый спирт	0,62	Трихлорэтан	0,14
				Пропиловый спирт	0,69		
				Амиловый спирт	-		
				Изобутиловый спирт	0,79		

				Изопропиловый спирт	0,69		
				циклогексан	1		
				Этилформиат	0,46		
				этилхлорид	0,43		
				Сжиженный природный газ	1		
				Кумол	0,84		
				Печной газ	0,09		
				Циклопропан	1		
				Этиламин	0,8		

2.2. Определение ожидаемого режима взрывного превращения

2.2.1. Классификация горючих веществ по степени чувствительности

ТВС, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по своим взрывоопасным свойствам разделены на четыре класса. Классификация горючих веществ приведена в табл. 1 [1, 2].

В случае если вещество отсутствует в табл. 1, его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в таблице веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного

вещества - относить его к классу 1, т. е. рассматривать как наиболее опасный случай.

2.2.2. Классификация окружающей территории

В связи с тем что характер окружающего пространства в значительной степени определяет скорость взрывного превращения облака ТВС и, следовательно, параметры ударной волны, геометрические характеристики окружающего пространства разделены на виды в соответствии со степенью его загроможденности.

Вид 1. Наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой возможно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания с размером не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси. Если размер детонационной ячейки для данной смеси неизвестен, то минимальный характерный размер турбулентных струй принимается равным 5 см для веществ класса 1; 20 см - для веществ класса 2; 50 см - для веществ класса 3 и 150 см - для веществ класса 4.

Вид 2. Сильно загроможденное пространство: наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий.

Вид 3. Средне загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.

Вид 4. Слабо загроможденное и свободное пространство.

2.2.3. Классификация ожидаемого режима взрывного превращения

Известны два основных режима протекания быстропротекающих процессов - детонация и дефлаграция [3]. Для оценки параметров действия взрыва возможные режимы взрывного превращения ТВС разбиты на шесть диапазонов по скоростям их распространения, причем пять из них приходятся на процессы дефлаграционного горения ТВС, поскольку характеристики процесса горения со скоростями фронта меньшими 500 м/с имеют существенные качественные различия.

Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения определяется с помощью экспертной табл. 2 в зависимости от класса горючего вещества и вида окружающего пространства [4].

Экспертная таблица для определения режима взрывного превращения

Класс горючего вещества	Вид окружающего пространства			
	1	2	3	4
	Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения			
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Ниже приводится разбиение режимов взрывного превращения ТВС по диапазонам скоростей.

Диапазон 1. Детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и больше.

Диапазон 2. Дефлаграция, скорость фронта пламени 300-500 м/с.

Диапазон 3. Дефлаграция, скорость фронта пламени 200-300 м/с.

Диапазон 4. Дефлаграция, скорость фронта пламени 150-200 м/с.

Диапазон 5. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением [4]:

$$V_{\Gamma} = k_1 M_{\Gamma}^{1/6}, (2)$$

где k_1 - константа, равная 43.

Диапазон 6. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением [4]:

$$V_{\Gamma} = k_2 M_{\Gamma}^{1/6}, (3)$$

где k_2 - константа, равная 26.

2.2.4. Оценка агрегатного состояния ТВС

Для дальнейших расчетов необходимо оценить агрегатное состояние топлива смеси. Предполагается, что смесь гетерогенная, если более 50% топлива содержится в облаке в виде капель, в противном случае ТВС считается газовой. Провести такие оценки можно исходя из величины давления насыщенных паров топлива при данной температуре и времени формирования облака. Для летучих веществ, таких, как пропан при температуре +20°C, смесь можно считать газовой, а для веществ с низким давлением насыщенного пара (распыл дизтоплива при +20°C) расчеты проводятся в предположении гетерогенной топливно-воздушной смеси.

2.3. Расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн

После того как определен вероятный режим взрывного превращения, рассчитываются основные параметры воздушных ударных волн (избыточное давление ΔP и импульс волны давления I) в зависимости от расстояния до центра облака.

2.3.1. Детонация газовых и гетерогенных ТВС

Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии R от центра облака при детонации облака ТВС предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по соотношению [5, 6]:

$$R_x = R / (E / P_0)^{1/3}. \quad (4)$$

Примечание. Все соотношения также могут быть записаны в функциях аргумента $\lambda = 100R/E^{1/3}$. При принятых в Методике допущениях между R_x и λ существует простая связь: $\lambda = 2,15R_x$.

Далее рассчитываются безразмерное давление P_x и безразмерный импульс фазы сжатия I_x .

В случае детонации облака газовой ТВС расчет производится по следующим формулам [8]:

$$\ln(P_{\text{ж}}) = -1,124 - 1,66\ln(R_{\text{ж}}) + 0,26 (\ln(R_{\text{ж}}))^2 \pm 10 \%; (5)$$

$$\ln(I_{\text{ж}}) = -3,4217 - 0,898\ln(R_{\text{ж}}) - 0,0096 (\ln(R_{\text{ж}}))^2 \pm 15 \%. (6)$$

Зависимости (5) и (6) справедливы для значений $R_{\text{ж}}$, больших величины $R_{\text{жк}} = 0,2$ и меньших $R_{\text{жк}} = 24$. В случае $R_{\text{ж}} < 0,2$ величина $P_{\text{ж}}$ полагается равной 18, а в выражение (6) подставляется значение $R_{\text{ж}} = 0,142$.

В случае детонации облака гетерогенной ТВС расчет производится по следующим формулам:

$$P_{\text{ж}} = 0,125/R_{\text{ж}} + 0,137/R_{\text{ж}}^2 + 0,023/R_{\text{ж}}^3 \pm 10 \%; (7)$$

$$I_{\text{ж}} = 0,022/R_{\text{ж}} \pm 15 \%. (8)$$

Зависимости (7) и (8) справедливы для значений $R_{\text{ж}}$ больших величины $R_{\text{жк}} = 0,25$. В случае если $R_{\text{ж}} < R_{\text{жк}}$, величина $P_{\text{ж}}$ полагается равной 18, а величина $I_{\text{ж}} = 0,16$.

2.3.2. Дефлаграция газовых и гетерогенных ТВС

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость видимого фронта пламени ($V_{\text{г}}$) и степень расширения продуктов сгорания (σ). Для газовых смесей принимается $\sigma = 7$, для гетерогенных - $\sigma = 4$. Для расчета параметров ударной волны при дефлаграции гетерогенных облаков величина эффективного энергозапаса смеси домножается на коэффициент $(\sigma - 1)/\sigma$.

Безразмерные давление $P_{\text{ж1}}$ и импульс фазы сжатия $I_{\text{ж1}}$ определяются по соотношениям:

$$P_{\text{ж1}} = (V_{\text{г}}/C_{\sigma})^2 ((\sigma - 1)/\sigma) (0,83/R_{\text{ж}} - 0,14/R_{\text{ж}}^2); (9)$$

$$I_{\text{ж1}} = (V_{\text{г}}/C_{\sigma}) ((\sigma - 1)/\sigma) (1 - 0,4(\sigma - 1)V_{\text{г}}/C_{\sigma}) (0,06/R_{\text{ж}} + 0,01/R_{\text{ж}}^2 - 0,0025/R_{\text{ж}}^3). (10)$$

Последние два выражения справедливы для значений $R_{\text{ж}}$, больших величины $R_{\text{жкР}} = 0,34$, в противном случае вместо $R_{\text{ж}}$ в соотношения (9) и (10) подставляется величина $R_{\text{жкР}}$.

Далее вычисляются величины $P_{\times 2}$ и $I_{\times 2}$, которые соответствуют режиму детонации и для случая детонации газовой смеси рассчитываются по соотношениям (5), (6), а для детонации гетерогенной смеси - по соотношениям (7), (8). Окончательные значения $P_{\times}$ и I выбираются из условий:

$$P_{\times} = \min(P_{\times 1}, P_{\times 2}); I_{\times} = \min(I_{\times 1}, I_{\times 2}). \quad (11)$$

После определения безразмерных величин давления и импульса фазы сжатия вычисляются соответствующие им размерные величины [5, 6]:

$$\Delta P = P_{\times} \cdot P_{PP}; \quad (12)$$

$$I = I_{\times} (P_{\phi})^{2/3} E^{1/3} / C_{\phi}. \quad (13)$$

3. Определение дополнительных характеристик взрыва ТВС

3.1. Профиль ударной волны

Характерный профиль ударной волны при взрыве ТВС показан на рис. 2.

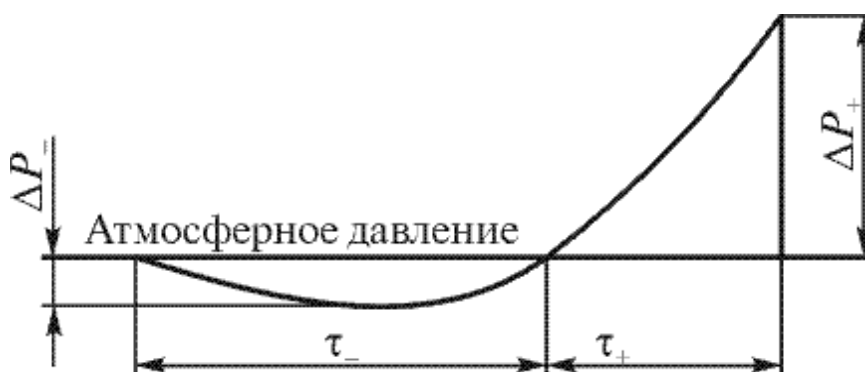


Рис. 2. Характерный профиль ударной волны

Ниже показано, как определяются количественные характеристики дополнительных параметров ударной волны.

3.2. Параметры падающей волны при детонации облака газовой смеси

Параметры падающей волны при детонации облака газовой смеси рассчитываются по следующим соотношениям [7-11].

Амплитуда фазы сжатия

$$\ln(\Delta P_+/P_0) = 0,299 - 2,058 \ln \lambda + 0,26 (\ln \lambda)^2. \quad (14)$$

Амплитуда фазы разрежения

$$\ln(\Delta P_-/P_0) = -1,46 - 1,402 \ln \lambda + 0,079 (\ln \lambda)^2. \quad (15)$$

Длительность фазы сжатия

$$\ln(10^5 \tau_+/E^{1/3}) = 0,106 + 0,448 \ln \lambda - 0,026 (\ln \lambda)^2. \quad (16)$$

Длительность фазы разрежения

$$\ln(10^5 \tau_-/E^{1/3}) = 1,299 + 0,412 \ln \lambda - 0,079 (\ln \lambda)^2. \quad (17)$$

Импульс фазы сжатия

$$\ln(I_+/E^{1/3}) = -0,843 - 0,932 \ln \lambda - 0,037 (\ln \lambda)^2. \quad (18)$$

Импульс фазы разрежения

$$\ln(I_{-}/E^{1/3}) = -0,873 - 1,25\ln\lambda + 0,132(\ln\lambda)^2. \quad (19)$$

Форма падающей волны с описанием фаз сжатия и разрежения в наиболее опасном случае детонации газовой смеси может быть описана соотношением

$$\Delta P(t, \lambda) = \Delta P_+ (\sin(\pi(t - t_+)/t_-) / \sin(-\pi t + t_0/t_-)) \exp(-K+t/). \quad (20)$$

Декремент затухания в падающей волне рассчитывается по соотношению

$$K_0 = 0,889 - 0,356\ln\lambda + 0,105(\ln\lambda)^2.$$

3.3. Параметры отраженной ударной волны

Для расчета параметров отраженной волны при ее нормальном падении на преграду используются следующие соотношения.

Амплитуда отраженной волны давления

$$\ln(\Delta P_{r+}/P_0) = 1,264 - 2,056\ln\lambda + 0,211(\ln\lambda)^2. \quad (21)$$

Амплитуда отраженной волны разрежения

$$\ln(\Delta P_{r-} P_0) = -0,673 - 1,043\ln\lambda + 0,252(\ln\lambda)^2. \quad (22)$$

Длительность отраженной волны давления

$$\ln(10^{5t_{r+}}/E^{1/3}) = -0,109 + 0,983\ln\lambda - 0,23(\ln\lambda)^2. \quad (23)$$

Длительность отраженной волны разрежения

$$\ln(10^5 \tau_{r-}/E^{1/3}) = 1,265 + 0,857 \ln \lambda - 0,192 (\ln \lambda)^2. \quad (24)$$

Импульс отраженной волны давления

$$\ln(I_{r+}/E^{1/3}) = -0,07 - 1,033 \ln \lambda + 0,045 (\ln \lambda)^2. \quad (25)$$

Импульс отраженной волны разрежения

$$\ln(I_{r-}/E^{1/3}) = -0,052 - 0,462 \ln \lambda - 0,27 (\ln \lambda)^2. \quad (26)$$

Общее время действия отраженных волн на мишень

$$\ln(10^5 (\tau_{r+} + \tau_{r-})/E^{1/3}) = 1,497 + 0,908 \ln \lambda - 0,404 (\ln \lambda)^2. \quad (27)$$

Форма отраженной волны с описанием фаз сжатия и разрежения с хорошей для практических целей точностью может быть описана соотношением

$$\Delta r_{PP} \lambda(t, \Delta) = r_{P+} \pi (\sin(\tau(t - r_{+} \tau)/r_{-} \pi_-) / \sin(-\tau_{r+} \tau)/r_{r-}) \exp(-K \tau t / r_{+}). \quad (28)$$

Декремент затухания в отраженной волне рассчитывается по соотношению

$$K r = 0,978 - 0,554 \ln \lambda + 0,26 (\ln \lambda)^2. \quad (29)$$

Соотношения (14)-(29) справедливы при значениях λ до 51,6.

3.4. Параметры волны при произвольном режиме сгорания

Импульсные характеристики падающих и отраженных волн не зависят от скорости взрывного превращения. Интенсивность и длительность действия ударных волн при $\lambda \geq 1$ рассчитываются по соотношениям предыдущего раздела. Возможность таких оценок основана на сравнении

опытных данных с фактическими сведениями об авариях.

4. Оценка поражающего воздействия

При взрывах ТВС существенную роль играют такие поражающие факторы, как длительность действия ударной волны, и связанный с ней параметр импульс взрыва. Реальное деление плоскости факторов поражения на диаграмме импульс - давление на две части (внутри - область разрушения, вне - область устойчивости) не имеет четкой границы. При приближении параметров волны к границе опасной области вероятность заданного уровня поражения нарастает от 0 до 100%. При превышении известного уровня величин амплитуды давления и импульса достигается 100% вероятность поражения. Эта типичная особенность диаграмм поражения может быть отражена представлением вероятности достижения того или иного уровня ущерба с помощью пробит-функции - Pr_i .

4.1. Оценка вероятности повреждений промышленных зданий от взрыва облака ТВС

4.1.1. Вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению [12]:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln V_1. \quad (30)$$

Фактор V_1 рассчитывается с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по соотношению

$$V_1 = (17\,500/\Delta P)^{0,4} + (290/I)^{0,3}. \quad (31)$$

4.1.2. Вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается по соотношению [12]:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2. \quad (32)$$

В этом случае фактор V_2 рассчитывается по формуле

$$V_{\Sigma} = (40\,000/\Delta P)^{7,4} + (460/I)^{11,3}. \quad (33)$$

На рис. 3 приведена P-I диаграмма, соответствующая различным значениям поражения зданий ударной волной при взрыве облака ТВС [5, 6].

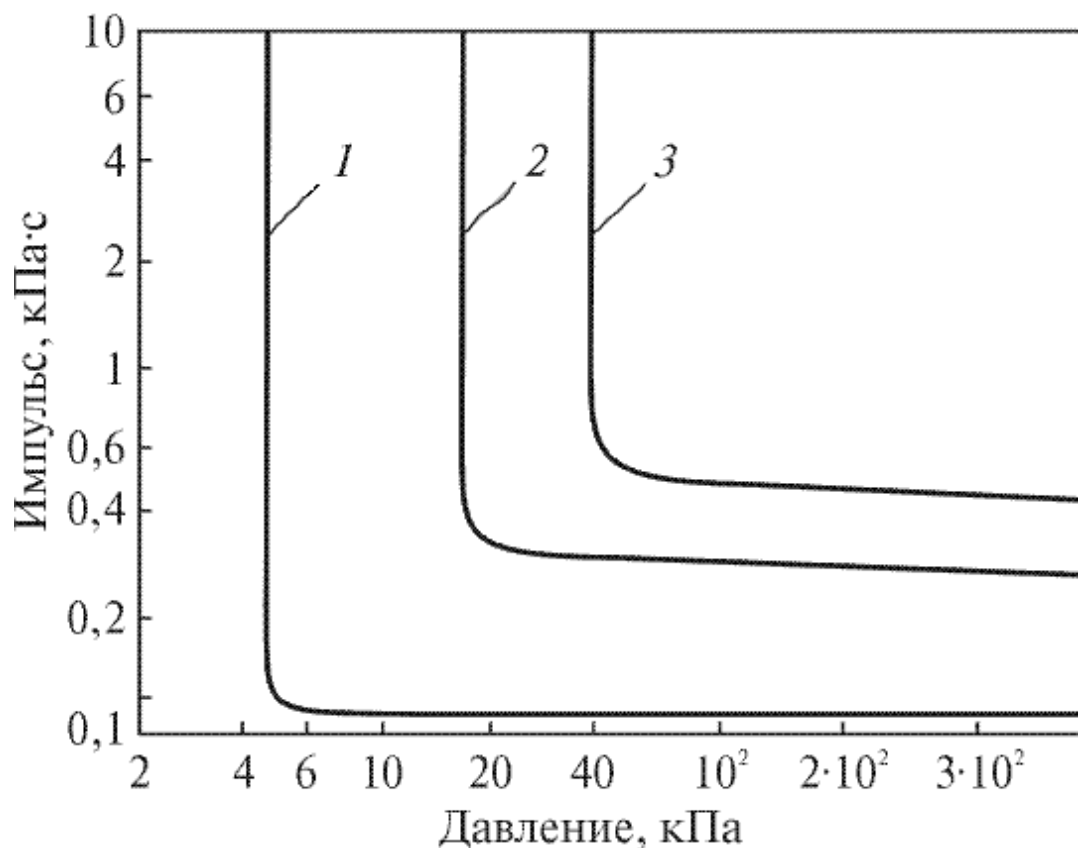


Рис. 3. P-I диаграмма для оценки уровня поражения промышленных зданий:

1 - граница минимальных разрушений; 2 - граница значительных повреждений; 3 - разрушение зданий (50-75% стен разрушено)

4.2. Оценка вероятности поражения людей при взрыве облака ТВС

Ниже приводятся соотношения, которые могут быть использованы для расчета уровня вероятности поражения воздушной волной живых организмов (в том числе и человека).

4.2.1. Вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС, может быть оценена по величине пробит-функции [12, 13]:

$$\text{Pr} \bar{z} = 5 - 5,74 \ln V \bar{z}. \quad (34)$$

Фактор опасности $V \bar{z}$ рассчитывается по соотношению

$$V \bar{z} = 4,2 / \bar{P} + 1,3 / \bar{i}, \quad (35)$$

Безразмерное давление и безразмерный импульс задаются выражениями:

$$\bar{P} = 1 + \Delta P / P_0 \text{ и } \bar{i} = l (P_0^{1/2} m^{1/3}), \quad (36)$$

где m - масса тела живого организма, кг.

На рис. 4 приведена P-I диаграмма, соответствующая различным значениям вероятности поражения людей, попавших в зону действия взрыва [12].

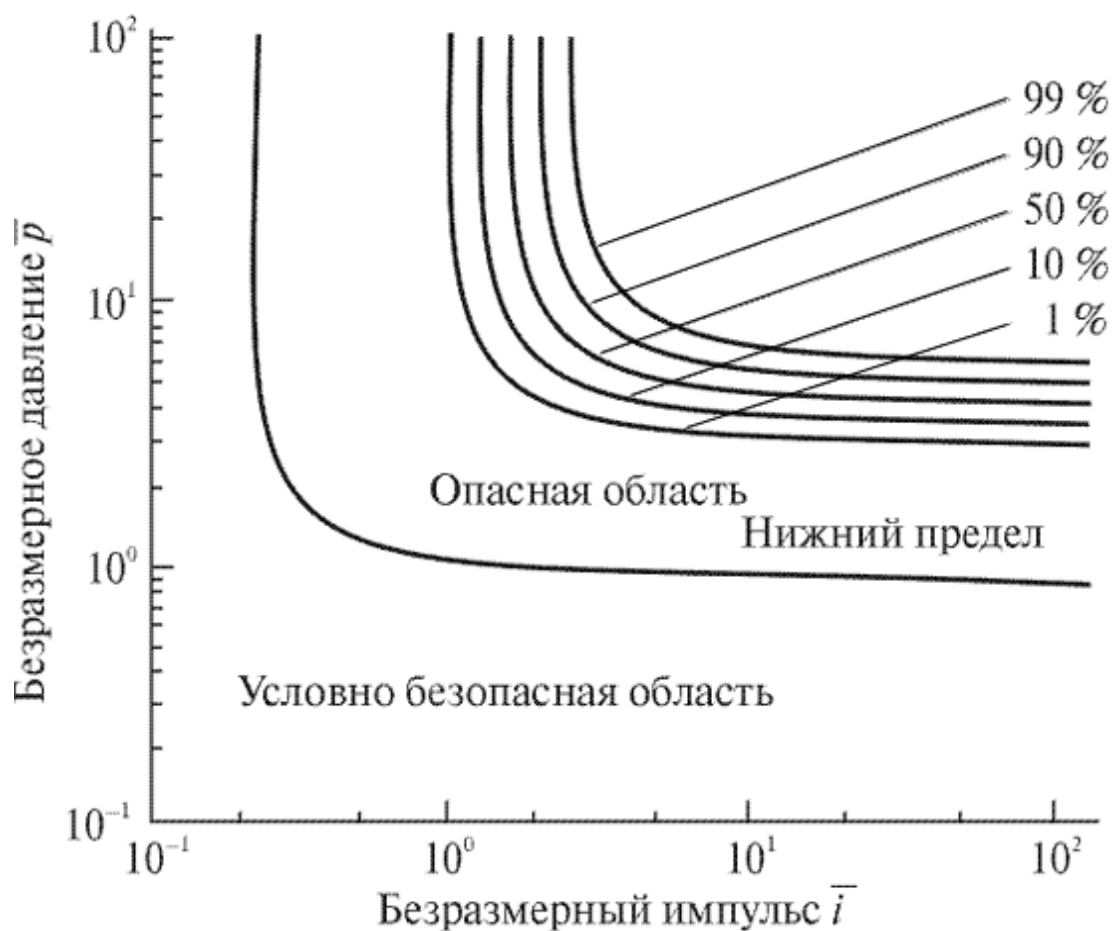


Рис. 4. P-I диаграмма для экспресс-оценки поражения людей от взрыва ТВС

4.2.2. В некоторых источниках сообщается о зависимости вероятности разрыва барабанных перепонок у людей от уровня перепада давления в воздушной волне [13]:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P. \quad (37)$$

4.2.3. Вероятность отброса людей волной давления может оцениваться по величине пробит-функции [12, 13]:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln V_5. \quad (38)$$

Здесь фактор V_5 рассчитывается из соотношения

$$V_5 = 7,38 \cdot 10^{-3} / \Delta P + 1,3 \cdot 10^{-9} / (\Delta P)^2. \quad (39)$$

Связь функции Pr_i с вероятностью той или иной степени поражения находится по табл. 3 [12].

Таблица 3

Связь вероятности поражения с пробит-функцией

P, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97

50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	3,09

4.3. Оценка радиусов зон поражения

Для определения радиусов зон поражения может быть предложен (например, [14]) следующий метод, который состоит в численном решении уравнения

$$k/(\Delta P(R) - P^*) = I(R) - I^*, (40)$$

причем константы k , P^* , I^* зависят от характера зоны поражения и определяются из табл. 4, а функции $P(R)$ и $I(R)$ находятся по соотношениям (7)-(13) соответственно.

Таблица 4

Константы для определения радиусов зон поражения при взрывных ТВС

Характеристика действия ударной волны	I^* , Па·с	P^* , Па	k Па ² ·с
Разрушение зданий			
Полное разрушение зданий	770	70100	886 100
Граница области сильным разрушений: 50-75 % стен разрушено или находится на грани разрушения	520	34500	541 000

Граница области значительных повреждений: повреждение некоторых конструктивных элементов, несущих нагрузку	300	14600	119 200
Граница области минимальных повреждений: разрывы некоторых соединений, расчленение конструкций	100	3600	8950
Полное разрушение остекления	0	7000	0
50 % разрушение остекления	0	2500	0
10 % и более разрушение остекления	0	2000	0
Поражение органов дыхания незащищенных людей			
50 % выживание	440	243 000	$1,44 \cdot 10^8$
Порог выживания (при меньших значениях смерт. поражения людей маловероятны)	100	65 900	$1,62 \cdot 10^7$

Заметим, что в некоторых источниках [5, 6, 15] предлагается более простая формула для определения радиусов зон поражения, используемая, как правило, для оценки последствий взрывов конденсированных ВВ, но, с известными допущениями, приемлемая и для грубой оценки последствий взрывов ТВС:

$$R = KW^{1/3} / (1 + (3180/W)^2)^{1/6}, \quad (41)$$

где коэффициент К определяется согласно табл. 5, а W - тротиловый эквивалент взрыва, определяемый из соотношения

$$W = \frac{0,4}{0,9} \frac{M_r q_r}{4,5 \cdot 10^3} \quad (42)$$

где q_r - теплота сгорания газа.

Уровни разрушения зданий

Категория повреждения	Характеристика повреждения здания	Избыточное давление ΔP , кПа	Коэффициент К
A	Полное разрушение здания	≥ 100	3,8
B	Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70	5,6
C	Средние повреждения, возможно восстановление здания	2В	9,6
D	Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14	28,0
E	Частичное разрушение остекления	$\leq 2,0$	56

Для определения радиуса смертельного поражения человека в соотношение (41) следует подставлять величину $K = 3,8$.

Приложение

Примеры расчетов

Пример 1

В результате аварии на автодороге, проходящей по открытой местности, в безветренную погоду произошел разрыв автоцистерны, содержащей 8 т сжиженного пропана. Для оценки максимально возможных последствий принято, что в результате выброса газа в пределах воспламенения оказалось практически все топливо, перевозившееся в цистерне. Средняя концентрация пропана в образовавшемся облаке составила около 140 г/м^3 . Расчетный объем облака составил 57 тыс. м^3 . Воспламенение облака привело к возникновению взрывного режима его превращения. Требуется определить параметры воздушной ударной волны

(избыточное давление и импульс фазы сжатия) на расстоянии 100 м от места аварии.

Решение:

Сформируем исходные данные для дальнейших расчетов:

тип топлива - пропан;

агрегатное состояние смеси - газовая;

концентрация горючего в смеси $C_{г} = 0,14 \text{ кг/м}^3$;

масса топлива, содержащегося в облаке, $M_{г} = 8000 \text{ кг}$;

удельная теплота сгорания топлива $q_{г} = 4,64 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$;

окружающее пространство - открытое (вид 4).

Определяем эффективный энергозапас ТВС E . Так как $C_{г} > C_{ст}$, следовательно,

$$E = 2M_{г}q_{г}C_{ст}/C_{г} = 2 \cdot 8000 \cdot 4,64 \cdot 10^7 \cdot 0,077/0,14 = 4,1 \cdot 10^{11} \text{ Дж}.$$

Исходя из классификации веществ, определяем, что пропан относится к классу 2 опасности (чувствительные вещества). Геометрические характеристики окружающего пространства относятся к виду 4 (открытое пространство). По экспертной табл. 2 определяем ожидаемый режим взрывного превращения облака ТВС - дефлаграция с диапазоном видимой скорости фронта пламени от 150 до 200 м/с. Для проверки рассчитываем скорость фронта пламени по соотношению (2):

$$V_{г} = k_1 M_{г}^{1/6} = 43 \cdot 8000^{1/6} = 192 \text{ м/с}.$$

Полученная величина меньше максимальной скорости диапазона данного взрывного превращения.

Для заданного расстояния $R = 100 \text{ м}$ рассчитываем безразмерное расстояние $R_{\times}$:

$$R_{\times} = R/(E/P_0)^{1/3} = 100/(4,1 \cdot 10^{11}/101\,324)^{1/3} = 0,63.$$

Рассчитываем параметры взрыва при скорости горения 200 м/с. Для вычисленного безразмерного расстояния по соотношениям (9) и (10) определяем величины $P_{\times 1}$ и $I_{\times 1}$:

$$P_{\times 1} = (V_f / C_0)^2 ((\sigma - 1) / \sigma) (0,83 / R_{\times} - 0,14 / R_{\times}^2) = 200^2 / 340^2 \cdot 6/7 (0,83 / 0,63 - 0,14 / 0,63^2) = 0,29;$$

$$I_{\times 1} = (V_f / C_0) ((\sigma - 1) / \sigma) (1 - 0,4 (V_f / C_0) ((\sigma - 1) / \sigma)) \times$$

$$\times (0,06 / R_{\times} + 0,01 / R_{\times}^2 - 0,0025 / R_{\times}^3) = (200 / 340) ((7 - 1) / 7) \times$$

$$\times (1 - 0,4 (200 / 340) ((7 - 1) / 7)) (0,06 / 0,63 + 0,01 / 0,63^2 - 0,0025 / 0,63^3) = 0,0427.$$

Так как ТВС - газовая, величины $P_{\times 2}$, $I_{\times 2}$ рассчитываем по соотношениям (5) и (6):

$$P_{\times 2} = \exp(-1,124 - 1,66 \ln(R_{\times}) + 0,26 (\ln(R_{\times}))^2) = 0,74 \pm 10\%;$$

$$I_{\times 2} = \exp(-3,4217 - 0,898 \ln(R_{\times}) - 0,0096 (\ln(R_{\times}))^2) = 0,049 \pm 15\%.$$

Согласно (11) определяем окончательные значения $P_{\times}$ и $I_{\times}$:

$$P_{\times} = \min(P_{\times 1}, P_{\times 2}) = \min(0,29, 0,74) = 0,29;$$

$$I_{\times} = \min(I_{\times 1}, I_{\times 2}) = \min(0,0427, 0,049) = 0,0427.$$

Из найденных безразмерных величин $P_{\times}$ и $I_{\times}$ вычисляем согласно (12) и (13) искомые величины избыточного давления и импульса фазы сжатия в воздушной ударной волне на расстоянии 100 м от места аварии при скорости горения 200 м/с:

$$\Delta P = 2,8 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$I = I_{\times} (P_0)^{2/3} E^{1/3} / C_0 = 2,04 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Используя полученные значения ΔP и I , находим:

$$Pr_1 = 6,06, Pr_2 = 4,47, Pr_3 = -1,93, Pr_4 = 3,06, Pr_5 = 2,78$$

(при расчете Pr_3 предполагается, что масса человека 80 кг).

Это согласно табл. 3 означает: 86% вероятность повреждений и 30% вероятность разрушений промышленных зданий, а также 2,5% вероятность разрыва барабанных перепонок у людей и 1% вероятность отброса людей волной давления. Вероятности остальных критериев поражения близки к нулю.

Пример 2

В результате внезапного раскрытия обратного клапана в пространство, загроможденное подводными трубопроводами, выброшено 100 кг этилена. Рядом с загазованным объектом на расстоянии 150 м находится помещение цеха. Концентрация этилена в облаке 80 г/м^3 . Требуется определить степень поражения здания цеха и расположенного в нем персонала при взрыве облака ТВС.

Решение:

Сформируем исходные данные для дальнейших расчетов:

горючий газ - этилен;

агрегатное состояние смеси - газовая;

концентрация горючего в смеси $C_{г} = 0,08 \text{ кг/м}^3$;

стехиометрическая концентрация этилена с воздухом $C_{ст} = 0,09$;

масса топлива, содержащегося в облаке, $M_{г} = 100 \text{ кг}$;

удельная теплота сгорания горючего газа $q_{г} = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$;

окружающее пространство - загроможденное.

Определяем эффективный энергозапас горючей смеси E . Так как $C_{г} < C_{ст}$, следовательно,

$$E = M_{г} q_{г} \cdot 2 = 100 \times 4,6 \cdot 10^7 \cdot 2 = 9,2 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Исходя из классификации веществ, определяем, что этилен относится к классу 2 опасности (чувствительные вещества). Геометрические характеристики окружающего пространства относятся к виду 1 (загроможденное пространство). По экспертной табл. 2 определяем диапазон ожидаемого режима взрывного превращения облака топливно-воздушной смеси - первый, что соответствует детонации.

Для заданного расстояния 150 м определяем безразмерное параметрическое расстояние λ :

$$\lambda = R/E^{1/3} = 100 \cdot 150 / (9,2 \cdot 10^9)^{1/3} = 7,16.$$

По соотношениям для падающей волны (14)-(19) находим:

амплитуда фазы давления

$$\Delta P_{+}/P_0 = 0,064 \text{ или } \Delta P_{+} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ Па при } P_0 = 101\,325 \text{ Па;}$$

амплитуда фазы разрежения

$$\Delta P_{-}/P_0 = 0,02 \text{ или } \Delta P_{-} = 2 \cdot 10^3 \text{ Па при } P_0 = 101\,325 \text{ Па;}$$

длительность фазы сжатия

$$\tau_{+} = 0,0509 \text{ с;}$$

длительность фазы разрежения

$$\tau_{-} = 0,127 \text{ с;}$$

импульсы фаз сжатия и разрежения

$$I_+ \approx I_- = 126,4 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Форма падающей волны с описанием фаз сжатия и разрежения в наиболее опасном случае детонации газовой смеси может быть описана соотношением

$$\Delta P(t) = 6,5 \cdot 10^{-3} (\sin(\pi(t - 0,0509)/0,1273) / \sin(-\pi p_{50,9}/0,1273)) \exp(-0,6t/0,0509).$$

Используя полученные значения ΔP_+ и I_+ , по формулам п.4 имеем:

$$Pr_1 = 2,69; Pr_2 = 1,69; Pr_3 = -11,67; Pr_4 = 0,76; Pr_5 = -13,21$$

(при расчете Pr_3 предполагается, что масса человека 80 кг).

Это согласно табл. 3 означает 1 % вероятность разрушений производственных зданий. Вероятности остальных критериев поражения близки к нулю.

По соотношениям для отраженной волны (21)-(26) находим:

амплитуда отраженной волны давления

$$\Delta P_{r+}/P_0 = 0,14 \text{ или } \Delta P_{r+} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Па при } P_0 = 101325 \text{ Па};$$

амплитуда отраженной волны разрежения

$$\Delta P_{r-}/P_0 = 0,174 \text{ или } \Delta P_{r-} = 1,74 \cdot 10^{-4} \text{ Па при } P_0 = 101325 \text{ Па};$$

длительность отраженной волны давления

$$\tau_{r+} = 0,0534 \text{ с};$$

длительность отраженной волны разрежения

$$t_{r-} = 0,1906 \text{ с};$$

импульсы отраженных волн давления и разрежения:

$$I_{r+} = 308 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$I_{r-} = 284,7 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Форма отраженной волны при взаимодействии со стенкой

$$\Delta P_r(t) = 1,4 \cdot 10^{-4} (\sin(\pi(t - 0,0534)/0,1906) / \sin(-\pi 0,0534/0,1906)) \exp(-0,8906t/0,0534).$$

Используя полученные значения ΔP_+ и I_+ , по формулам п. 4 имеем:

$$Pr_1 = 4,49; Pr_2 = 3,28; Pr_3 = -7,96; Pr_4 = 1,95; Pr_5 = -9,35.$$

Это согласно табл. 3 означает вероятности: 30 % повреждений и 4 % разрушений производственных зданий. Вероятности остальных критериев поражения близки к нулю.

Список используемой литературы

1. Lewis P. J. Prog. Energy Comb. Sc.: Vol. 6, pp. 121-126, 1980.
2. M. P. Sherman, M. Berman, Nuclear technology, Vol. 81, pp. 63-77, 1988.
3. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989.
4. H. Giesbrecht et al., Ger. Chem. Eng., V. 4, part 1-2, pp. 305-325.

5. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Химия, 1991.
6. Бейкер У., Кокс П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия / Под ред. Я. Б. Зельдовича, Б. Е. Гельфанда. М.: Мир, 1986.
7. Woolfolk R. W. and Ablow C. M. In Proc. of Conf. on Mechanisms of Explosion and Blast Waves, Feltman Research Laboratory, Picatinny Arsenal, Dover, N. I., pp. 42, 1973.
8. Desrosier C., Reboux A., Brossard J., Effect of asymmetric ignition on the vapor cloud spatial blast. Progr. Aeron. and Astron., (1991) 134: 21-37.
9. Brossard J., Bailly P., Desrosier C., Renard J., Overpressure imposed by a blast wave. Progr. Aeron. and Astron., (1988) 114: 389-400.
10. Brossard J., Leyer J. C., Desbordes D., Saint Clouds J. P., Hendrickx S., Garnier J. L., Lannoy A., Perrot J. (1984) Air blast unconfined gaseous detonations. Progr. Aeron. and Astron., (1984) 94: 556.
11. Desbordes D., Manson N., Brossard J. (1978) Explosion dans l'air de charges spheriques non confenees de melanges reactifs gazeux. Acta Astronautica 5: 1009.
12. Methods for the determination of possible damage. Green book / CPR 16E, 1989.
13. C. M. Pietersen. Consequences of accidental releases of hazardous material (in J. Loss Prev. Process Ind., 1990, Vol. 3, January).
14. Отраслевое руководство по анализу и управлению риском, связанным с техногенным воздействием на человека и окружающую среду при сооружении и эксплуатации объектов добычи, транспорта, хранения и переработки углеводородного сырья с целью повышения их надежности и безопасности (I редакция). - М.: ПАО "Газпром", 1996.
15. ПБ 09-170-97. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (приложение 1). Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 22.12.97 N 52.

4. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств

4.1. Приложение 2. Взрыв парогазовых сред, а также твердых и жидких нестабильных соединений

90 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических,

Приложение 2

Расчет участвующей во взрыве массы вещества и радиусов зон разрушений

Расчет может применяться при выборе основных направлений технических мероприятий по защите объектов и персонала от воздействия взрыва парогазовых сред, а также твердых и жидких химически нестабильных соединений (перекисные соединения, ацетилениды, нитросоединения различных классов, продукты осмоления, трихлористый азот и др.), способных взрываться.

Расчет дает ориентировочные значения участвующей во взрыве массы вещества.

1. В данном расчете по результатам исследований крупномасштабных взрывов на промышленных объектах и экспериментальных взрывов приняты следующие условия и допущения.

1.1. В расчетах принимаются общие приведенные массы парогазовых сред m и соответствующие им энергетические потенциалы E , полученные при количественной оценке взрывоопасности технологических блоков согласно приложению 1.

Для конкретных реальных условий значения m и E могут определяться другими методами с учетом эффекта диспергирования горючей жидкости в атмосфере под воздействием внутренней и внешней энергий, характера раскрытия технологической системы, скорости истечения горючего продукта в атмосферу и других возможных факторов.

Масса твердых и жидких химически нестабильных соединений W_k определяется по их содержанию в технологической системе, блоке, аппарате.

1.2. Масса парогазовых веществ, участвующих во взрыве, определяется произведением

$$m' = zm, \quad (1)$$

где z — доля приведенной массы парогазовых веществ, участвующих во взрыве.

© Госгортехнадзор России, 2003

нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств

91

В общем случае для неорганизованных парогазовых облаков в незамкнутом пространстве с большой массой горючих веществ доля участия во взрыве может приниматься равной 0,1. В отдельных обоснованных случаях доля участия веществ во взрыве может быть снижена, но не менее чем до 0,02.

Для производственных помещений (зданий) и других замкнутых объемов значения z могут приниматься в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Значение z для замкнутых объемов (помещений)

Вид горючего вещества	Значение z
Водород	1,0
Горючие газы	0,5
Пары легковоспламеняющихся и горючих жидкостей	0,3

1.3. Источники воспламенения могут быть постоянные (печи, факелы, невзрывозащищенная электроаппаратура и т.п.) или случайные (временные огневые работы, транспортные средства и т.п.), которые могут привести к взрыву парогазового облака при его распространении.

1.4. Для оценки уровня воздействия взрыва может применяться тротиловый эквивалент. Тротиловый эквивалент взрыва парогазовой среды W_T (кг), определяемый по условиям адекватности характера и степени разрушения при взрывах парогазовых облаков, а также твердых и жидких химически нестабильных соединений рассчитывается по формулам:

1.4.1. Для парогазовых сред

$$W_T = \frac{0,4q'}{0,9q_T} zm, \quad (2)$$

где 0,4 — доля энергии взрыва парогазовой среды, затрачиваемая непосредственно на формирование ударной волны;

0,9 — доля энергии взрыва тринитротолуола (ТНТ), затрачиваемая непосредственно на формирование ударной волны;

© Оформление: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность» 2003

q' — удельная теплота сгорания парогазовой среды, кДж/кг;
 q_T — удельная энергия взрыва ТНТ, кДж/кг.

1.4.2. Для твердых и жидких химически нестабильных соединений

$$W_T = \frac{q_k}{q_T} W_k, \quad (3)$$

где W_k — масса твердых и жидких химически нестабильных соединений;

q_k — удельная энергия взрыва твердых и жидких химически нестабильных соединений.

2. Зоной разрушения считается площадь с границами, определяемыми радиусами R , центром которой является рассматриваемый технологический блок или наиболее вероятное место разгерметизации технологической системы. Границы каждой зоны характеризуются значениями избыточных давлений по фронту ударной волны ΔP и соответственно безразмерным коэффициентом K . Классификация зон разрушения приводится в табл. 2.

Таблица 2

Классификация зон разрушения

Класс зоны разрушения	K	ΔP , кПа
1	3,8	≥ 100
2	5,6	70
3	9,6	28
4	28	14
5	56	≤ 2

2.1. Радиус зоны разрушения (м) в общем виде определяется выражением

$$R = K \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{1/6}}, \quad (4)$$

где K — безразмерный коэффициент, характеризующий воздействие взрыва на объект.

2.2. При выполнении инженерных расчетов радиусы зон разрушения могут определяться выражением

$$R = KR_0, \quad (5)$$

где при $m \leq 5000$ кг

$$R_0 = \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{1/6}},$$

или при $m \geq 5000$ кг

$$R_0 = \sqrt[3]{W_T}.$$

5. Методика прогнозирования последствий взрывов конденсированных взрывчатых веществ. Военно-Инженерный университет

5.1. Взрыв конденсированных взрывчатых веществ

Параметры взрыва конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) определяются в зависимости от вида ВВ, эффективной массы, характера подстилающей поверхности и расстояния до центра взрыва. Расчет проводят в два этапа. Вначале определяют

приведенный радиус $\bar{R}$, для рассматриваемых расстояний, а затем избыточное давление ΔP_{ϕ} . Приведенный радиус зоны взрыва $\bar{R}$ может быть определен по формуле:

$$\bar{R} = \frac{r}{\sqrt[3]{2 \cdot \eta \cdot Q \cdot k_{\text{эфф}}}}, \text{ м/кг}^{1/3},$$

где: r - расстояние до центра взрыва ВВ, м;

η - коэффициент, учитывающий характер подстилающей поверхности, принимаемый равным:

для металла - 1;

для бетона - 0,95;

для грунта и дерева - 0,6 - 0,8;

Q - масса ВВ, кг.

$k_{\text{эфф}}$ - коэффициент приведения рассматриваемого вида ВВ к тротилу, принимаемый по приведенной ниже таблице.

Значения коэффициента $k_{\text{эфф}}$

Вид ВВ	Тротил	Три-тонол	Гексоген	тэн	Аммо-нол	Порох	ТНПС	Тетрил
$k_{\text{эфф}}$	1	1,53	1,3	1,39	0,99	0,66	0,39	1,15

В зависимости от величины приведенного радиуса избыточное давление может быть определено по одной из следующих формул:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{700}{3 \cdot \left(\sqrt{1 + \bar{R}^3} - 1 \right)}, \text{ кПа, при } \bar{R} \leq 6,2; \quad (2.83)$$

$$\Delta P_{\phi} = \frac{70}{\bar{R} \cdot \left(\sqrt{\lg \bar{R} - 0,332} \right)}, \text{ кПа, при } \bar{R} > 6,2. \quad (2.84)$$

Расчеты можно проводить также по графику (рис.2.12), построенному с использованием этих формул.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБСТАНОВКИ ПРИ АВАРИЯХ СО ВЗРЫВОМ НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Зоны разрушений при авариях со взрывом на пожароопасных объектах можно определить по рекомендациям п.п. 2.2.5.1 - 2.2.5.4. Обстановку в зоне принято оценивать показателями, которые могут быть разделены на две группы:

показатели, непосредственно характеризующие инженерную обстановку;

показатели, определяющие объем аварийно-спасательных работ и жизнеобеспечения населения.

Для прогнозирования обстановки на пожаровзрывоопасных объектах рекомендуется на план объекта нанести зоны с радиусами, соответственно равными $\Delta P_f = 100; 50; 30; 20; 10$ кПа.

При оперативном прогнозировании можно выделить четыре зоны разрушений:

полных разрушений ($\Delta P_f > 50$ кПа);

сильных разрушений ($30 < \Delta P_f < 50$ кПа);

средних разрушений ($20 < \Delta P_f < 30$ кПа);

слабых разрушений ($10 < \Delta P_f < 20$ кПа).

Пример: определить значение ΔP_f на расстоянии $r = 20$ м при взрыве тротила $Q = 100$ кг. На пересечении вертикальной линии $r = 20$ м с горизонтальной $Q = 100$ кг получим точку В, соответствующую $\Delta P_f = 0,4$ кгс/см².

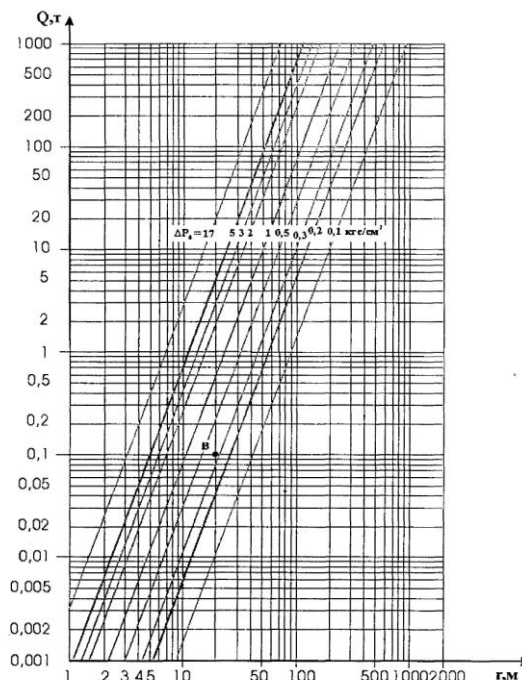


Рис. 2.12. Изменение значений ΔP_f (кгс/см²) при взрыве в зависимости от массы ВВ Q (кг) и расстояния r (м)

ПОКАЗАТЕЛИ ИНЖЕНЕРНОЙ ОБСТАНОВКИ

К основным показателям инженерной обстановки относят:

- количество зданий, получивших полные, сильные, средние и слабые разрушения;
- объем завала;
- количество участков, требующих укрепления (обрушения) поврежденных или разрушенных конструкций;
- количество аварий на коммунально-энергетических сетях (КЭС);
- протяженность заваленных проездов.

Кроме основных показателей, при оценке инженерной обстановки могут определяться вспомогательные показатели, к которым относятся:

- дальность разлета обломков от контура здания;
- высота завала;
- максимальный вес обломков;
- максимальный размер обломков.

Рассмотрим порядок определения показателей, характеризующих инженерную обстановку. Для чрезвычайных ситуаций, вызванных взрывами, при оперативном прогнозировании обстановки принято рассматривать четыре степени разрушения зданий - слабые, средние, сильные и полные (табл. 2.21).

Характеристика степеней разрушения зданий

Степени разрушения	Характеристика разрушения
Слабые	Частичное разрушение внутренних перегородок, кровли, дверных и оконных коробок, легких построек и др. Основные несущие конструкции сохраняются. Для полного восстановления требуется капитальный ремонт
Средние	Разрушение меньшей части несущих конструкций. Большая часть несущих конструкций сохраняется и лишь частично деформируется. Может сохраняться часть ограждающих конструкций - стен, однако при этом второстепенные и несущие конструкции могут быть частично разрушены. Здание выводится из строя, но может быть восстановлено.
Сильные	Разрушение большей части несущих конструкций. При этом могут сохраняться наиболее прочные элементы здания, каркасы, ядра жесткости, частично стены и перекрытия нижних этажей. При сильном разрушении образуется завал. Восстановление возможно с использованием сохранившихся частей и конструктивных элементов. В большинстве случаев восстановление нецелесообразно.

Полные	Полное обрушение здания, от которого могут сохраниться только поврежденные (или неповрежденные) подвалы и незначительная часть прочных элементов. При полном разрушении образуется завал. Здание восстановлению не подлежит.
--------	--

Количество зданий, получивших полные, сильные, средние и слабые разрушения определяют путем сопоставления давлений, характеризующих прочность зданий, и давлений, характеризующих воздействие взрыва.

В таблице 2.22 приведены интервалы давлений, вызывающих ту или иную степень разрушения жилых, общественных и производственных зданий при взрывах ВВ и горючих смесей. Данные, приведенные в таблице, представляют аппроксимацию законов определенных степеней разрушения зданий в виде ступенчатой функции.

Таблица 2.22

**Степени разрушения зданий от избыточного давления при
взрывах горючих смесей**

Типы зданий	Степени разрушения и избыточные давления, кПа			
	слабые	средние	сильные	полные
Кирпичные и каменные: малоэтажные многоэтажные	8-20 8-15	20-35 15-30	35-50 30-45	50-70 45-60
Железобетонные крупнопанельные: малоэтажные многоэтажные	10-30 8-25	30-45 25-40	45 - 70 40-60	70-90 60-80
Железобетонные монолитные: многоэтажные повышенной этажности	25-50 25-45	50- 115 45-105	115-180 105-170	180-250 170-215
Железобетонные крупнопанельные с железобетонным и металлическим каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью, в тоннах: до 50 от 50 до 100	5-30 15-45	30-45 45-60	45-75 60-90	75- 120 90- 135
Здания со стенами типа «Сэндвич» и крановым оборудованием грузоподъемностью до 30 тонн	10-30	30-50	50-65	65 - 105
Складские помещения с металлическим каркасом и стенами из листового металла	5-10	10-20	20-35	35-45

Взрывы на объектах, содержащих менее 10 тонн горючих газов, воздействуют на ограниченной площади.

При этом, в большинстве случаев, здания полностью не разрушаются. К таким случаям относятся также взрывы в отдельных помещениях больших зданий. Оценку характера разрушения зданий в этом случае можно провести в следующей последовательности:

Определить расстояние r от предполагаемого места взрыва до основных несущих и ограждающих элементов здания.

Вычислить границы зоны r_0 детонационной волны.

Определить значение избыточного давления ΔP_f в местах размещения элементов конструкций.

Если $\Delta P_f > |\Delta P_f|$, то элемент считается вышедшим из строя. Значения $|\Delta P_f|$ определяются по таблице 2.23.

Таблица 2.23

Предельные значения давлений $|\Delta P_f|$, вызывающих различные степени разрушения отдельных конструктивных элементов зданий

1 ДРФ 1, кПа	Разрушаемые элементы здания
0,5 - 3,0	Частичное разрушение остекления
3,0-7,0	Полное разрушение остекления
12	Перегородки, оконные и дверные рамы
15	Перекрытия
30	Кирпичные и блочные стены
70	Металлические колонны
90	Железобетонные колонны

О степени разрушения здания в целом судят по характеру разрушения отдельных его элементов, используя известные описания степеней разрушения здания или таблицы (приведенные в справочной литературе) по прочности зданий к воздействию воздушной ударной волны ядерного взрыва. В этом случае значения, вызывающие различные степени разрушения зданий, увеличивают в 1,5 - 1,7 раза.

Объем завала полностью разрушенного здания определяют по формуле:

$$V = \frac{\gamma \cdot A \cdot B \cdot H}{100}, \text{ м}^3, \quad (2.85)$$

где: A , B , H - длина, ширина и высота здания, м;

γ - объем завала на 100 м³ строительного объема здания, принимаемый:

для промышленных зданий - $\gamma = 20$ м³ ; для жилых зданий - $\gamma = 40$ м³.

Объем завала здания, получившего сильную степень разрушения, принимают равным половине от объема завала полностью разрушенного здания.

Количество участков, требующих укрепления (обрушения) поврежденных или разрушенных конструкций, принимают из расчета один участок на здание, получившее сильное разрушение.

Количество аварий на коммунально-энергетических сетях (КЭС) принимают равным числу разрушенных вводов коммуникаций в здание (электро-, газо-, тепло- и водоснабжения). Кроме того, проверяется возможность разрушения головных элементов коммуникаций и линий снабжения. Ввод коммуникации считается разрушенным, если здание получило полную или сильную степень разрушения. При отсутствии исходных данных можно принять, что каждое здание имеет четыре ввода коммуникации.

Протяженность заваленных проездов оценивается с учетом ширины улиц и дальности разлета обломков. При отсутствии данных ширина улиц принимается равной:

30 м - для магистральных улиц;

18м- районных улиц;

10 - 12 м - проездов и переулков.

Дальность разлета обломков разрушенных зданий определяется для оценки заваливаемости подъездов. Дальность разлета обломков принимают равным половине высоты здания.

Высота завала вычисляется для выбора способа проведения спасательных работ. Расчеты высоты завала проводят по формуле:

$$h = \frac{\gamma \cdot H}{100 + 5H}$$

где: H - высота здания, м.

Максимальный вес и размер обломков, определяющих грузоподъемность и вылет стрелы кранов может быть принят в соответствии с табл. 2.24.

Таблица 2.24 Максимальный вес и размеры обломков зданий

Тип здания	Пролет здания, м	Максимальный вес, т	Максимальный размер, м
Производственное одноэтажное легкого типа	6 12 18	3 5 12	Колонны до 7,2 т
среднего типа	18	8	Колонны до 10,8 т
тяжелого типа	24 36	20 35	Колонны до 18 т
Производственное многоэтажное	6-9	10	Колонны до 14,8 т
Жилое	6	2,5	Колонны до 8 т Плиты - 6

К основным показателям, влияющим на объемы поисково-спасательных работ и жизнеобеспечение населения, относятся:

- общая численность пострадавших людей;
- число пострадавших, оказавшихся в завале;
- число людей, оказавшихся без крова (для жилых районов);
- потребность во временном жилье;
- пожарная обстановка в зоне разрушений;
- радиационная и химическая обстановка в районе аварии.

Кратко рассмотрим рекомендации по прогнозированию этих показателей.

При взрывах на объектах люди поражаются непосредственно воздушной ударной волной, осколками остекления и обломками зданий, получивших полные и сильные разрушения, значительная часть людей может оказаться в завалах.

На основании анализа случившихся аварий основным фактором, определяющим потери, является степень повреждения зданий. Принимается, что:

в полностью разрушенных зданиях поражают получают 100% находящихся в них людей, при этом полагают, что все пострадавшие находятся в завалах;

в сильно разрушенных зданиях поражения получают до 60% находящихся в них людей, при этом считают, что 50% из их числа может оказаться в завале, остальные поражаются обломками, стеклами и избыточным давлением в воздушной ударной волне;

в зданиях, получивших средние разрушения, может пострадать до 10-15 % находящихся в них людей.

Тогда максимальное количество людей, получивших поражение в зданиях, составит:

$$N_{\text{об.зд.}} = N_{\text{пол.р}} + 0,6 N_{\text{сил.р}} + 0,15 N_{\text{ср.р}}, \quad (2.86)$$

где: $N_{\text{об.зд.}}$, $N_{\text{сил.р}}$, $N_{\text{ср.р.}}$ - количество людей, находящихся в зданиях, получивших соответственно полные, сильные и средние разрушения.

Общее число пострадавших людей, размещенных на открытой местности, можно определить из выражения:

$$N_{\text{об.откр}} = d \times \varphi \sum P_i F_i, \quad (2.87)$$

где: d - доля людей, которые в момент взрыва могут оказаться в опасной зоне вне зданий (при отсутствии данных величина d может быть принята равной 0,05);

φ - плотность размещения людей, чел./км²;

F_i - площадь территории объекта, где воздействует воздушная ударная волна с давлением ΔP_f ;

P_i - вероятность поражения персонала, находящегося в i -ой зоне воздействия ударной волны взрыва (табл. 2.25).

Таблица 2.25

АРФ, кПа	< 13	13-35	35-65	65- 120	120-400	>400
p_i	0	0,75	0,35	0,13	0,05	0

Площадь F_i вычисляется путем поочередного вычитания из площади зоны поражения с давлением ΔP_{Φ} площади зоны поражения с давлением $\Delta P_{\Phi} i+$

Общие потери людей на объекте будут суммироваться из чисел пострадавших в зданиях и вне зданий:

$$N_{об} = N_{об.зд} + N_{об.откр.} \quad (2.88)$$

Безвозвратные потери людей на объекте составят:

$$N_б = 0,6 N_{об}, \quad (2.89)$$

а санитарные потери:

$$N_c = N_{об} - N_б. \quad (2.90)$$

Число пострадавших, оказавшихся в завалах, определяется из выражения:

$$N_{зав} = N_{пол.р.} + 0,3 N_{сил.р.} \quad (2.91)$$

Радиусы зон теплового поражения людей, в случае горения смеси по дефлаграционному режиму, могут быть определены с использованием зависимостей, приведенных В.Маршаллом: получение ожогов III степени:

$$R_{II} = 80 Q^{0,42}, \text{ м,}$$

получение ожогов II степени:

$$R_{II} = 150 Q^{0,42}, \text{ м,}$$

где: Q - масса газа в смеси, т.

Число людей, оказавшихся без крова, принимается равным численности людей, проживающих в зданиях, получивших средние, сильные и полные разрушения.

Потребность в жилой площади во временных зданиях, домиках и палаточных городках может быть определена из расчета размещения:

3-4 человека (или 1 семья) в комнате сборно-разборного домика, площадью 8-10 м²;

4-5 человек (или 1 семья) в одной лагерной палатке;

до 20 человек в палаточном общежитии УСБ-56 и до 30 коек при использовании палаток УСБ-56 для развертывания больниц и медицинских пунктов при двухъярусном размещении больных.

Радиационная и химическая обстановка в районе аварии оценивается по соответствующим методикам. При этом учитывается, что незащищенные емкости с АХОВ могут разрушаться от воздушной ударной волны при давлениях $\Delta P_{\text{ф}} = 70 \dots 75$ кПа.

При заблаговременной оценке обстановки вдоль трассы магистрального газопровода выделяют, как правило, четыре полосовых

участка параллельно газопроводу (с каждой стороны). Эти полосовые участки соответствуют характерным зонам разрушений:

полных разрушений ($\Delta P_{\text{ф}} > 50$ кПа);

сильных разрушений ($30 < \Delta P_{\text{ф}} < 50$ кПа);

средних разрушений ($20 < \Delta P_{\text{ф}} < 30$ кПа);

слабых разрушений ($10 < \Delta P_{\text{ф}} < 20$ кПа).

Зоны определяют по методике, изложенной в п. 2.2.5.3, а затем наносят на схему вдоль трассы газопровода и определяют показатели обстановки с использованием табл.2.21-2.25.

В заключение отметим, что показатели аварийно-спасательных работ и жизнеобеспечения населения используются при определении состава сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий аварий.

6. РД 52.04.253-90 Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях на химически опасных объектах и транспорте

6.1. Заражение СДЯВ при аварии на химически опасных объектах

Настоящая методика позволяет осуществлять прогнозирование масштабов зон заражения при авариях на технологических емкостях и хранилищах, при транспортировке железнодорожным, трубопроводным и другими видами транспорта, а также в случае разрушения химически опасных объектов.

1.1. Методика распространяется на случай выброса СДЯВ в атмосферу в газообразном, парообразном или аэрозольном состоянии.

Масштабы заражения СДЯВ в зависимости от их физических свойств и агрегатного состояния рассчитываются по первичному и вторичному облаку, например:

для снижения газов – отдельно по первичному и вторичному облаку;

для сжатых газов – только по первичному облаку;

для ядовитых жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды – только по вторичному облаку.

1.2. Исходные данные для прогнозирования масштабов заражения СДЯВ:

- общее количество СДЯВ на объекте и данные по размещению их запасов в емкостях и технологических трубопроводах;
- количество СДЯВ, выброшенных в атмосферу, и характер их разлива на подстилающей поверхности («свободно», «в поддон» или в «обваловку»);
- высота поддона или обваловки складских емкостей;
- метеорологические условия: температура воздуха, скорость ветра на высоте 10м, степень вертикальной устойчивости воздуха.

1.3. При заблаговременном прогнозировании масштабов заражения на случай производственных аварий в качестве исходных данных рекомендуется принимать: за величину выброса СДЯВ (Q_0) – его содержание в максимальной по объему единичной емкости (а для сейсмических районов – общий запас), метеорологические условия – инверсия, скорость ветра – 1м/с.

Для прогноза масштабов заражения непосредственно после аварии должны браться конкретные данные о количестве выброшенного (разлившегося) СДЯВ и реальные метеоусловия.

1.4. Внешние границы зоны заражения СДЯВ рассчитываются по пороговой токсодозе при ингаляционном воздействии на организм человека.

Порядок нанесения зон заражения на планы и карты изложен ниже.

1.5. Принятые допущения:

емкости, содержащие СДЯВ, при авариях разрушаются полностью;

толщина слоя жидкости для СДЯВ (**h**), разлившихся свободно на подстилающей поверхности, принимается равной 0,05м по всей площади разлива; для СДЯВ, разлившихся в поддон или обваловку, определяется из соотношений:

при разливах из емкостей, имеющих самостоятельный поддон (обвалование)

$$h = H - 0.2,$$

где: **H** – высота поддона (обвалования), м;

при разливах из емкостей, расположенных группой, имеющих общий поддон (обвалование)

$$h = Q_0 / (F * d),$$

где: **Q₀** – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т;

d – плотность СДЯВ, т/куб.м;

F – реальная площадь разлива в поддон (обвалование), кв.м;

предельное время пребывания людей в зоне заражения и продолжительность сохранения неизменными метеорологических условий (степени вертикальной устойчивости воздуха, направления и скорости ветра) составляют 4 часа. По истечении указанного времени прогноз обстановки должен уточняться;

при авариях на газо- и продуктопроводах величина выброса СДЯВ принимается равной его максимальному количеству, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекающими, например для амиакопроводов –275 –500 т.

в методике используется понятие эквивалентного количества СДЯВ, т.е. такого количества хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения при данной степени вертикальной устойчивости воздуха количеством данного вещества, перешедшим в первичное или вторичное облако.

2. Прогнозирование глубин зон заражения СДЯВ

Расчет глубины зоны заражения СДЯВ ведется с помощью данных, приведенных в таблице П2.7.7.-1.

2.1. Определение количественных характеристик выброса СДЯВ.

2.1.1. Определение эквивалентного количества вещества по первичному облаку.

Эквивалентное количество вещества по первичному облаку (в тоннах) определяется по формуле:

$$Q_{э1} = K1 * K3 * K5 * K7 * Q_0$$

где: **K1** – коэффициент, зависящий от условий хранения СДЯВ

(таблица П2.7.7.-2.), для сжатых газов $K_1=1$;

K3 – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого СДЯВ

(таблица П2.7.7.-2.);

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

(таблица П2.7.7.-2.), для сжатых газов $K_7=1$;

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

Таблица П.2.7.7.-1.

Глубины зон возможного заражения СДЯВ, км																
Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество СДЯВ, 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	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,7	121	189
3	0,23	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,6	25,21	31,3	61,5	84,5	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	24,8	48,18	66	101
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,18	10,33	13,88	16,89	20,8	40,1	54,7	83,6
6	0,15	0,34	0,43	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,8	18,13	34,7	47,1	71,7
7	0,14	0,32	0,45	1	1,42	2,46	3,17	4,5	6,5	8,14	10,9	13,2	16,2	30,7	41,6	63,16
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,3	2,97	4,2	5,92	7,42	9,9	11,98	14,68	27,75	37,5	56,7
9	0,12	0,28	0,4	0,88	1,25	2,17	2,8	3,96	5,6	6,86	9,1	11,03	13,5	25,4	34,24	51,6
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,5	8,5	10,23	12,54	23,5	31,6	47,53
15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,7	17,6	23,5	35

Примечания: 1. При скорости ветра более 15м/с размеры зон заражения принимать как при скорости 15м/с.

2. При скорости ветра менее 1м/с размеры зон заражения принимать как при скорости 1м/с.

Таблица П.2.7.7.-2

Характеристики СДЯВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубины заражения

№ п п	Наименование СДЯВ	Плотность СДЯВ, т/м		Температ ура кипения, °С	Порогов ая токсодо за (мг мин)/л	Значения вспомогательных коэффициентов								
		Газ	Жидко сть			К1	К2	К3	К7					
									Дл я	Дл я	Дл я	Дл я	Дл я	
									- 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	14	
1	Акролеин		0,839	52,6	0,2	0	0,01 3	0,75	0,1	0,2	0,4	1	2,2	
2	Амиак:													
	хранение под давлением	0,00 08	0,681	-33,42	15	0,18	0,02 5	0,04	0 / 0,9	0,3 / 1	0,6 / 1	1 / 1	1,4 / 1	
	Изотермическ ое хранение		0,681	-33,42	15	0,01	0,02 5	0,04	0 / 0,9	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	
3	Ацетонитрил		0,786	81,6	21,6	0	0,00 4	0,02 8	0,02	0,1	0,3	1	2,6	
4	Ацетонцианги дрин		0,932	120	1,9	0	0,00 2	0,31 6	0	0	0,3	1	1,5	
5	Водород мышьяковист ый	0,00 35	1,64	-62,47	0,02	0,17	0,05 4	0,85 7	0,3 / 1	0,5 / 1	0,8 / 1	1 / 1	1,2 / 1	
6	Водород фтористый		0,989	19,52	4	0	0,02 8	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1	
7	Водород хлористый	0,00 16	1,191	85,10	2	0,28	0,03 7	0,30	0,64 / 1	0,6 / 1	0,8 / 1	1 / 1	1,2 / 1	
8	Водород бромистый	0,00 36	1,49	-66,77	2,4	0,13	0,05 5	6,0	0,2 / 1	0,5 / 1	0,8 / 1	1 / 1	1,2 / 1	

9	Водород цианистый		0,687	25,7	0,2	0	0,02 6	3,0	0	0	0,4	1	1,3
1 0	Диметиламин	0,00 20	0,680	6,9	1,2	0,06	0,04 1	0,5	0/ 0,1	0/ 0,3	0/ 0,8	1/1	2,5/ 1
1 1	Метиламин	0,00 14	0,699	-6,5	1,2	0,13	0,34	0,5	0/ 0,3	0/ 0,7	0,5/ 1	1/1	2,5/ 1
1 2	Метил бромистый		1,732	3,6	1,2	0,04	0,03 9	0,5	0/ 0,2	0/ 0,4	0/ 0,9	1/1	2,3/ 1
1 3	Метил хлористый	0,00 23	0,983	-23,76	10,8	0,12 5	0,04 4	0,05 6	0/ 0,5	0,1/ 1	0,6/ 1	1/1	1,5/ 1
1 4	Метилакрилат		0,953	80,2	6	0	0,00 5	0,02 5	0,1	0,2	0,4	1	3,1
1 5	Метилмеркапт ан		0,867	5,95	1,7	0,06	0,04 3	0,35 3	0/ 0,1	0/ 0,3	0/ 0,8	1/1	2,4/ 1
1 6	Нитрил акриловой кислоты		0,806	77,3	0,75	0	0,00 7	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
1 7	Окислы азота		1,491	21,0	1,5	0	0,04	0,4	0	0	0,4	1	1
1 8	Окись этилена		0,882	10,7	2,2	0,05	0,04 1	0,27	0/ 0,1	0/ 0,3	0/ 0,7	1/1	3,2/ 1
1 9	Сернистый ангидрид	0,00 29	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,04 9	0,33 3	0/ 0,2	0/ 0,5	0,3/ 1	1/1	1,7/ 1
2 0	Сероводород	0,00 15	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,04 2	0,03 6	0,3/ 1	0,5/ 1	0,8/ 1	1/1	1,2/ 1
2 1	Сероуглерод		1,263	46,2	45	0	0,02 1	0,01 3	0,1	0,2	0,4	1	2,1
2 2	Соляная кислота (конц.)		1,198		2	0	0,02 1	0,03	0	0,1	0,3	1	1,6
2 3	Триметил амин		0,671	2,9	6	0,07	0,04 7	0,1	0/ 0,1	0/ 0,4	0/ 0,9	1/1	2,2/ 1
2	Формальдегид		0,815	-19	0,6	0,19	0,34	1	0/ 0,1	0/1	0,5/ 0,5	1/1	1,5/ 1

4									0,4		1		1
2 5	Фосген	0,00 35	1,432	8,2	0,6	0,05	0,06 1	1	0 / 0,1	0 / 0,3	0 / 0,7	1 / 1	2,7 / 1
2 6	Фтор	0,00 17	1,512	-188,2	0,2	0,95	0,03 8	3	0,7 / 1	0,8 / 1	0,9 / 1	1 / 1	1,1 / 1
2 7	Фосфор треххлористый		1,57	75,3	3	0	0,01	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
2 8	Фосфора хлорокись		1,675	107,2	0,06	0	0,00 3	10	0,05	0,1	0,3	1	2,6
2 9	Хлор	0,00 32	1,588	-34,1	0,6	0,18	0,05 2	1	0 / 0,9	0,3 / 1	0,6 / 1	1 / 1	1,4 / 1
3 0	Хлорпикрин		1,658	112,3	0,02	0	0,00 2	30	0,03	0,1	0,3	1	2,9
3 1	Хлорциан	0,00 21	1,22	12,6	0,75	0,04	0,04 8	0,8	0	0	0 / 0,6	1 / 1	3,9 / 1
3 2	Этиленимин		0,838	55	4,8	0	0,00 9	0,12 5	0,05	0,1	0,4	1	2,2
3 3	Этиленсульфи д		1,005	55	0,1	0	0,01 3	6	0,05	0,1	0,4	1	2,2
3 4	Этилмеркапта н		0,839	35	2,2	0	0,02 8	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

Примечания: 1. Плотности газообразных СДЯВ в графе 3 приведены для атмосферного давления; при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности газообразных СДЯВ определяются путем умножения данных графы 3 на значение давления в кгс/кв.см.

2. В графах 10-14 в числителе значения **К7** для первичного, в знаменателе – для вторичного облака.

3. В графе 6 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно расчетом по соотношению: $TД=240 \text{ К ПДКр.з.}$, где: ПДКр.з. – ПДК рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 мг/л

$K = 5$ – для раздражающих ядов (одна звездочка)

$K = 9$ – для прочих ядов (две звездочки)

4. Значение **К1** для изотермического хранения аммиака приведено для случая разливов в поддон.

При авариях на хранилищах сжатого газа величина Q_0 рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = d * V_x$$

где: d – плотность СДЯВ, т/куб.м. (таблица П2.7.7.-2.);

V_x – объем хранилища, куб.м.

При авариях на газопроводе величина Q_0 рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = (n * d * V_r) / 100$$

где: n – процентное содержание СДЯВ в природном газе;

d – плотность СДЯВ, т/куб.м. (таблица П2.7.7.-2.);

V_r – объем секции газопровода между автоматическими отсекателями, куб.м.

При определении величины $Q_{э1}$ для сниженных газов, не вошедших в таблицу П2.7.7.-2., значение коэффициента K_7 принимается равным 1, а значение коэффициента K_1 рассчитать по соотношению:

$$K_1 = (C_p * T) / \text{Нисп}$$

где: C_p – удельная теплоемкость жидкого СДЯВ, кдж/кг град;

T – разность температур жидкого СДЯВ до и после разрушения емкости, град;

Нисп – удельная теплота испарения жидкого СДЯВ при температуре испарения, кдж/кг.

2.1.2. Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку (в тоннах) рассчитывается по формуле:

$$Q_{э2} = (1 - K_1) * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 * K_7 * Q_0 / (h * d)$$

где: K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств СДЯВ (таблица П2.7.7.-2.);

K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (таблица П2.7.7.-3.);

K_6 – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии N ; значение коэффициента K_6 определяется после расчета продолжительности испарения вещества T по формуле:

$$T = (h * d) / K_2 * K_4 * K_7;$$

где: h – толщина слоя СДЯВ, м;

d – плотность СДЯВ, т/куб.м.;

$$K6 = N^{0,8} \text{ при } N < T;$$

$$K6 = T^{0,8} \text{ при } N > T; \text{ при } T > 1 \text{ часа, } K6 \text{ принимается для 1 часа.}$$

Для определения величины Qэ2 для веществ, не вошедших в таблицу П2.7.7.-2., значение коэффициента K7 принимается равным 1, а значение коэффициента K2 определяется по формуле:

$$K2 = 8,1 \cdot 10^{-6} \cdot P \cdot M^{1/2}$$

где: **P** – давление насыщенного пара вещества при заданной температуре воздуха, мм.рт.ст.;

M – молекулярный вес вещества;

2.2. Расчет глубины зоны заражения при аварии на химически опасном объекте.

Расчет глубин зон заражения первичным (вторичным) облаком СДЯВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте ведется с помощью таблиц П2.7.7.-1.

Полная глубина зоны заражения Г (км, обусловленной действием первичного и вторичного облака СДЯВ), определяется по формуле:

$$Г = Г_{\text{макс}} + 0.5 Г_{\text{мин}}$$

Таблица П2.7.7.-3.

Значение коэффициента **K4** в зависимости от скорости ветра.

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
K4	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

Таблица П2.7.7.-4.

Таблица для определения степени вертикальной устойчивости воздуха по прогнозу погоды

скорость ветра, м/с	ночь		утро		день		вечер	
	ясно	пасмурно	ясно	пасмурно	ясно	пасмурно	ясно	пасмурно
< 2	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из

2 – 3,9	ин	из	из (ин)	из	из	из	из (ин)	из
> 4	из	из	из	из	из	из	из	из

Примечания: 1. ин – инверсия; из – изотермия; к – конвекция, буквы в скобках – при снежном покрове.

2. Под термином «утро» понимается период времени в течение 2-х часов после восхода солнца; под термином «вечер» - в течение 2-х часов после захода солнца.

3. Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимаются в расчетах на момент аварии.

Полученное значение глубины зоны Г сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс Гп, определяемым по формуле:

$$Гп = N * V$$

Где: **N** – время от начала аварии, ч;

V – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данных скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч (таблица П2.7.7.-4., П2.7.7.-6.).

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

2.3. Расчет глубины зоны возможного заражения при разрушении химически опасного объекта.

$$Q_{\Sigma} = 20 * K_4 * K_5 * \sum_{i=1}^n K_{2i} * K_{3i} * K_{6i} * K_{7i} * \frac{Q_i}{d_i}$$

Суммарное эквивалентное количество СДЯВ **Q_Σ** рассчитывается по формуле:

Где: **K_{2i}** – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств i-ого СДЯВ;

K_{3i} – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе i-ого СДЯВ;

K_{6i} – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после разрушения объекта;

K_{7i} – поправка на температуру i-ого СДЯВ;

Q_i – запасы i-ого СДЯВ на объекте, т;

d_i – плотность i-ого СДЯВ, т/куб.м.

В дальнейшем, расчет глубины зоны заражения производится в соответствии с П.П.2.1 и 2.2.

3. Определение площади зоны заражения

Площадь зоны возможного заражения первичным (вторичным) облаком СДЯВ определяется по формуле:

$$S_B = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma \cdot \varphi$$

Где: S_B – площадь зоны возможного заражения СДЯВ, кв.км;

Γ – глубина зоны заражения, км;

φ – угловые размеры зоны возможного заражения, град. Таблица П2.7.7.-5.

Таблица П2.7.7.-5.

Угловые размеры зоны возможного заражения СДЯВ в зависимости от скорости ветра U

U , м/с	< 0,5	0,6 - 1	1,1 - 2	> 2
град	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения S_Φ в кв.км. рассчитывается по формуле:

$$S_\Phi = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0.2}$$

где: K_8 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимается равным: при инверсии –0,081; при изотермии –0,133; при конвекции –0,295;

N – время, прошедшее после аварии.

4. Определение времени подхода зараженного воздуха к объекту и продолжительности поражающего действия СДЯВ

4.1. Определение времени подхода зараженного воздуха к объекту.

Время подхода облака СДЯВ к заданному объекту зависит от скорости переноса облака воздушным потоком и определяется по формуле:

$$t = x / V$$

где: x – расстояние от источника заражения до заданного объекта, км;

V – скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха, км/ч, зависит от скорости ветра в приземном слое U и степени вертикальной устойчивости воздуха (таблица П.2.7.7.-6.).

Таблица П.2.7.7.-6.

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Скорость переноса, км/ч	инверсия														
	5	10	16	21											
	изотермия														
	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
	конвекция														
	7	14	21	28											

4.2. Определение продолжительности поражающего действия СДЯВ

Продолжительность поражающего действия СДЯВ определяется временем его испарения с площади разлива.

Время испарения СДЯВ с площади разлива (в часах) определяется по формуле:

$$T = (h \cdot d) / (K_2 \cdot K_4 \cdot K_7)$$

где: **h** – толщина слоя СДЯВ, м;

d – плотность СДЯВ, т/куб.м.;

Порядок нанесения зон заражения на топографические карты, планы и схемы

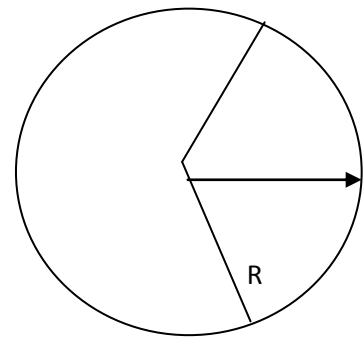
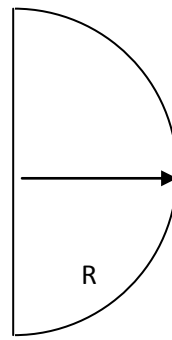
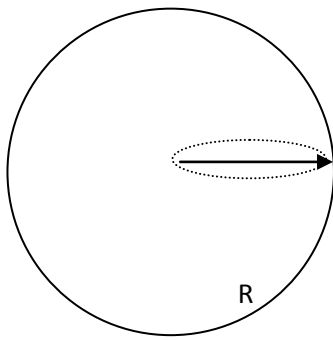
Зона возможного заражения облаком СДЯВ на картах (планах, схемах) может иметь форму окружности, полуокружности или сектора, имеющими угловые размеры φ и радиус, равный глубине заражения Г. Центр окружности, полуокружности или сектора совпадает с источником заражения.

Вид зон возможного заражения в зависимости от скорости ветра (U):

$$U < 0,5 \text{ м/с}$$

$$U = 0,6 - 1 \text{ м/с}$$

$$U = 1,1 - 2 \text{ м/с}$$



Зона фактического заражения, имеющая форму эллипса, включается в зону возможного заражения (может показываться пунктирной линией).

7. ВоениЗдат 80 Методика оценки радиационной и химической обстановки по данным разведки

7.1. Оценка радиационной обстановки при взрывах ядерных боеприпасов

Оценка радиационной обстановки при взрывах ядерных боеприпасов заключается в определении масштабов, степени радиоактивного заражения местности и его влияния на жизнедеятельность населения.

Выявление и оценка радиационной обстановки производится двумя методами:

- методом прогнозирования;
- по данным разведки.

Исходные данные для оценки радиационной обстановки методом прогнозирования: координаты и вид взрыва, время взрыва, мощность взрыва, допустимые дозы облучения, направление и средняя скорость ветра.

На этапе прогнозирования определяют:

- вероятный сектор и зоны радиоактивного заражения местности;
- возможное время начала заражения территории и воздушного пространства в районе объекта или населенного пункта и вероятность попадания их в сектор радиоактивного заражения;
- ожидаемые дозы облучения людей на открытой местности и в защитных сооружениях;
- возможность защиты людей и возможные потери.

На основании прогнозирования составляется план радиационной защиты.

Методика прогнозирования аналогична прогнозированию радиоактивного заражения при аварии на АЭС. Рассмотрим только некоторые особенности.

Вероятный сектор и зоны радиоактивного заражения определяют по следующей методике.

1. На карте из точки предполагаемого ядерного взрыва проводят ось по направлению среднего ветра.

2. Вокруг центра взрыва проводится окружность, обозначающая зону возможного радиоактивного заражения в районе взрыва. Радиус окружности принимают: 0,77 км для мощности взрыва 20 кт, 0,9 км — для 50 кт, 1 км — для 100 кт, 1,12 км — для 2000 кт.

3. От окружности проводят две касательных, параллельных оси следа. Относительно них проводят боковые границы под углами 200 к касательным (рис. 2. 11).

4. В секторе проводятся границы зон радиоактивного заражения (размеры берутся из таблицы 2.30):

- зона А (умеренного заражения, уровень радиации на внешней границе зоны через час после взрыва 8 Р/ч, доза до полного распада 40 рад);
- зона Б (сильного заражения, уровень радиации на внешней границе через час после взрыва 80 Р/ч, доза до полного распада 400 рад);
- зона В (зона опасного заражения, уровень радиации на внешней границе зоны через час после взрыва 240 Р/ч, доза до полного распада 1200 рад);
- зона Г (чрезвычайно опасного заражения, уровень радиации на внешней границе зоны через час после взрыва 800 Р/ч, доза до полного распада 4000 рад).

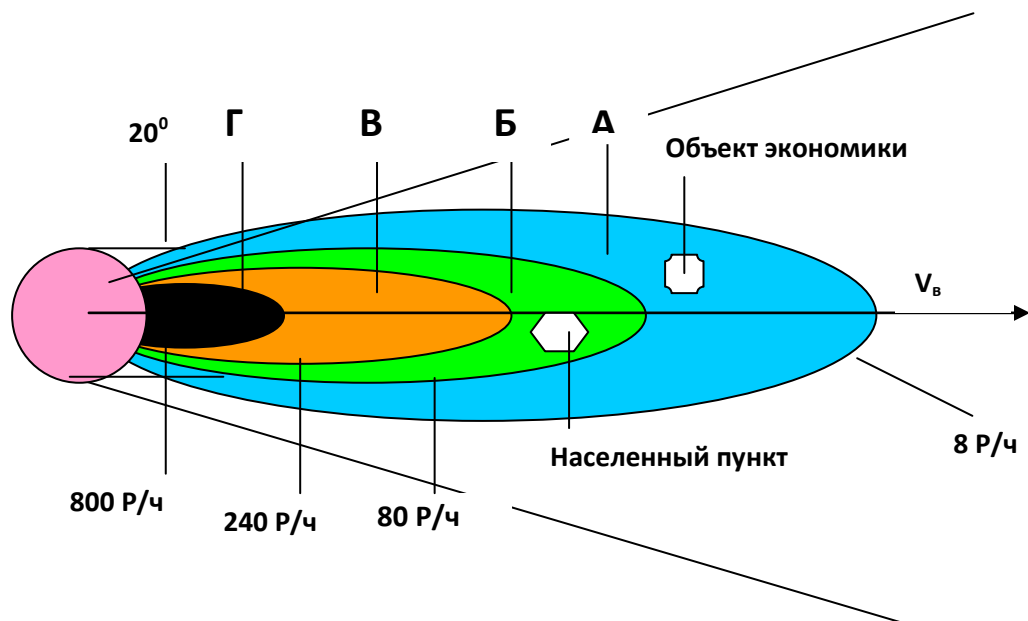


Рис.2.11. К построению зон радиоактивного заражения при ядерном взрыве

Таблица 2.30

Размеры зон радиоактивного заражения на следе радиоактивного облака

Мощность взрыва, кт	Скорость ветра, км/ч	Размеры зон заражения, км							
		Зона А		Зона Б		Зона В		Зона Г	
		Длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина
1	10	11	2,1	4,6	1	2,8	0,6	1,4	0,3
	25	15	2,8	5,3	1	2,7	0,6	1,2	0,2
	50	19	2,6	5,2	0,9	2,4	0,5	1,1	0,2
20	10	42	5,7	18	2,9	12	2	6,8	1,1
	25	58	7,2	24	3,3	14	1,9	6,6	1,1
	50	74	8,3	27	3,3	14	1,9	6,5	1
50	10	62	7,8	27	4	18	2,8	11	1,7
	25	87	9,9	36	4,7	23	3	12	1,7
	50	111	11	43	4,7	23	3	12	1,5
100	10	83	10	36	5,1	24	3,6	15	2,2
	25	116	12	49	6,1	31	4	18	2,2
	50	150	14	60	6,4	35	3,9	17	2

Реальные зоны радиоактивного заражения попадают в сектор с вероятностью 0,9. Сами зоны занимают примерно одну треть сектора. В пределах сектора зоны радиоактивного заражения А, Б, В и Г могут менять свое положение.