

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ТЕХНОГЕННОГО ВЗРЫВА РЕЗЕРВУАРА
СО СЖАТЫМ ГАЗОМ**

Методические указания к компьютерной лабораторной работе по
курсу «Безопасность жизнедеятельности»

Иваново - 2014

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить термины, параметры и эффекты взрывных воздействий. Ознакомиться с алгоритмом расчета взрыва резервуара со сжатым газом. Исследовать на математической модели влияние показателей состояния взрывной системы на параметры взрывного воздействия.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Взрывы, возникающие при производственной деятельности, относятся к опасным происшествиям, которые вызывают разрушение технических устройств, сооружений, зданий и взрывные воздействия на работников.

Взрыв – практически мгновенное высвобождение сконцентрированной во взрывной системе энергии, вызванное изменением физико-химического состояния вещества, сопровождающееся образованием ударной волны с избыточным давлением на фронте выше порогового значения.

Взрывы при производственной деятельности разделяются – на химические, физические.

Разновидности химических взрывов:

- детонационный взрыв конденсированного взрывчатого вещества, вызванная нарушением правил производства, хранения, транспортирования или применения;
- дефлаграционный или детонационный взрыв горючей газо- или паровоздушной смеси.

Разновидности физических взрывов:

- паровой взрыв вследствие соприкосновения перегретого расплавленного вещества с холодной жидкостью, имеющей низкую температуру кипения;
- взрыв сосуда под давлением при его разгерметизации и др.

Сосуд со сжатым негорючим газом обладает запасом термодинамической энергии, быстрое высвобождение которой может создать ударную волну.

Взрыв сосуда под давлением происходит вследствие опасных событий и процессов, в том числе:

- заполнение ёмкости веществом сверх установленной нормы;
- уменьшение прочности стенок герметичной ёмкости вследствие усталости металла или механических повреждений;
- уменьшение толщины стенок ёмкости вследствие коррозии;
- повышение давления вещества внутри сосуда при внешнем нагреве;

– повышение давления при нагреве вещества в сосуде вследствие внутренних химических превращений.

Энергия взрыва резервуара с негорючим газом пропорциональна величине внутреннего давления и определяется количеством термодинамической энергии, высвобождающейся при расширении сжатого газа.

При взрыве потенциальная энергия взрывной системы становится энергией взрывного процесса. Энергия взрывной системы при взрыве переходит

- в энергию ударной волны;
- энергию разлетающихся осколков;
- энергию предметов и тел, вовлечённых во взрывной процесс;
- энергию продуктов взрыва;
- остаточную энергию источника взрыва и др.

Для взрывов сосудов под давлением большая часть энергии взрывного процесса становится энергией ударной волны.

При количественной оценки разнородных взрывов введено понятие тротилового эквивалента (или ТНТ–эквивалента).

Тротил или тринитротолуол (ТНТ) – это взрывчатое вещество, применяемое в военных целях, а также для проведения взрывных работ в промышленности. Тринитротолуол относится к классу нитросоединений ароматического ряда – $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$. Он имеет достаточно высокую химическую стойкость. Разложение происходит в соответствии с уравнением реакции:



Выход газообразных продуктов составляет порядка $0,75 \text{ м}^3/\text{кг}$. Тротил имеет мало связанного кислорода, поэтому образует значительное количество твёрдых продуктов – сажистых частиц. Тротильный эквивалент взрывной системы по величине полной энергии

$$W_{\text{ТНТ}} = \frac{E_n}{4180},$$

где E_n – потенциальная энергия взрыва, кДж; 4180 – удельная энергия взрыва тротила, кДж/кг.

Тротильный эквивалент взрыва по энергии ударной волны составляет:

$$W_{\text{ТНТ}}^{\text{уб}} = W_{\text{ТНТ}} \cdot k_{\text{уб}},$$

где $k_{\text{уб}}$ – коэффициент перехода энергии взрывной системы в энергию ударной волны.

Трогильвый эквивалент используют для оценки количества тринитротолуола, которое привело бы к аналогичным последствиям, что и данный взрыв.

Ударная волна, возникающая в воздушном массиве – это один цикл сжатия-разрежения. Она не является гармонической. Волна в координатах "давление – время" для фиксированной точки пространства, удалённой от источника взрыва, имеет следующий вид:

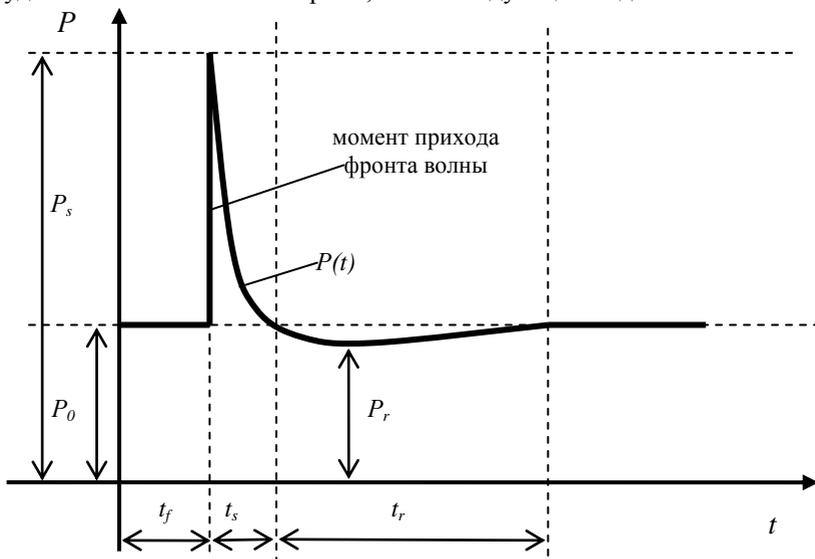


Рис.1. Ударная волна в координатах "давление – время"

t_f – время подхода фронта волны в точку, удалённую от источника взрыва; t_s – продолжительность фазы сжатия; t_r – продолжительность фазы разрежения; P_0 – начальное давление воздушной среды; P_s – давление воздушной среды на фронте волны; P_r – давление воздушной среды в фазе разрежения волны

Основными показателями, характеризующими воздушную волну, являются давления воздуха в фазах сжатия и разрежения, продолжительности этих фаз, а также импульсы фаз.

Импульс фазы сжатия

$$i_s = \int_{t_f}^{t_s} [P(t) - P_0] \cdot dt .$$

Импульс фазы разрежения

$$i_r = \int_{t_s}^{t_r} [P_0 - P(t)] \cdot dt .$$

При описании взрывов ударную волну как цикл сжатия-разрежения нередко разделяют на два полуцикла. Один полуцикл называют волной сжатия или прямой волной, другой полуцикл – волной разрежения или обратной волной. Зачастую зону сжатия принимают бесконечно малой и отождествляют с фронтом волны, т.е. под волной понимают лишь её часть – фронт, поэтому основным параметром взрывного воздействия является избыточное давление на фронте ударной волны.

Взрывное воздействие взрыва является комплексным, оно разделяется условно на первичное и вторичное.

Первичное воздействие создаётся ударной волной. Оно подразделяется на взрывное барическое и взрывоакустическое.

Эффекты взрывного барического воздействия обусловлены тем, что ткани, значительно отличающиеся своей плотностью от плотности соседних тканей, легко повреждаются. Альвеолярная ткань легких, соседствующая с более плотной тканью бронхов и кровеносных сосудов, повреждается в первую очередь. В результате возможны кровотечения, закупорка кровеносных сосудов, разрыв легких и др. К другим последствиям барического воздействия относят повреждения органов зрения, гортани, брюшной полости и др.

Эффекты взрывоакустического воздействия обусловлены тем, что органы слуха обладают высокой чувствительностью к повышенному давлению. Они реагируют на чрезвычайно низкие значения звукового давления (0.00002 Па). При взрывоакустическом воздействии ударной волны возможны временная потеря слуха, разрыв барабанной перепонки, повреждение среднего уха и др.

Вторичное воздействие взрыва вызывается

- потоком воздуха, приведённым в движение ударной волной;
- осколками, образующимися при разрушении оболочки взрывной системы;
- предметами, вовлечёнными во взрывной процесс;
- продуктами взрыва.

Вследствие этого, вторичное воздействие подразделяется

- на динамическое воздействие воздушного потока,
- динамическое воздействие осколков,
- динамическое воздействие предметов;
- термоконтатное воздействие продуктов взрыва,
- ингаляционное воздействие продуктов взрыва.

Под действием воздушного потока тело человека отрывается от опорной поверхности и перемещается на некоторое расстояние. Повреждения возникают или на стадии ускорения, или во время тормо-

зющего удара о твёрдую преграду. В подобных условиях наиболее уязвимой оказывается голова. При тормозящем ударе кроме повреждения головы эффекты взрывного воздействия проявляются переломами костей и травмами других жизненно важных органов.

Эффектами динамического воздействия осколков становятся рваные ранения кожи, проникающие ранения внутренних органов, переломы костей и повреждения черепа.

Эффекты термоконтантного воздействия возникают тогда, когда продукты взрыва имеют повышенную относительно тела человека температуру, и проявляются ожогами.

Эффекты ингаляционного воздействия на человека обуславливаются наличием опасных веществ во взрывной системе или в продуктах взрыва и проявляются удушьем, отравлением и т.д.

Степень поражения органов дыхания взрывной волной оценивается:

– по величине безразмерного избыточного давления на фронте волны

$$P = \frac{P_s}{P_0},$$

где P_s – избыточное давление на фронте волны, P_0 – атмосферное давление;

– по удельному положительному импульсу, приведенному к давлению и к массе

$$\bar{i}_s = \frac{i_s}{\sqrt{P_0} \cdot \sqrt[3]{m}}$$

где i_s – импульс фазы сжатия, m – масса тела человека.

Степень поражения органов слуха оценивается

1) по величине избыточного давления на фронте волны

2) по удельному положительному импульсу – импульсу фазы сжатия.

При достаточно длительном акустическом воздействии критерии поражения органов слуха при взрыве имеют следующие значения:

– 160 дБА – граница временной потери слуха;

– 185 дБА – нижний порог разрыва барабанной перепонки;

– 195 дБА – 50 %-ная вероятность разрыва барабанной перепонки.

Поражающее действие осколков определяется их массой и скоростью при ударе. Например, для осколка массой в 4,54 кг пороговой скоростью, достаточной для пролома черепа, является 4,57 м/с.

Пороговая скорость осколка, при которой кожный покров в 50% случаев воздействия пробивается насквозь, может быть оценена по формуле (м/с):

$$u_{\text{оск}} = 1247,1 \cdot \frac{F_{\text{оск}}}{M_{\text{оск}}} + 22,03 ;$$

где $F_{\text{оск}}$ – площадь сечения осколка, м²; $M_{\text{оск}}$ – масса осколка, кг.

Степень поражения при динамическом воздействии взрыва оценивается:

- по величине избыточного давления на фронте волны;
- удельному положительному импульсу, приведенному к массе тела человека

$$\overline{i_s} = \frac{i_s}{\sqrt[3]{m}}.$$

Степень поражения при тормозящих ударах о твёрдую преграду можно также оценить значениями скорости тела относительно преграды.

2. СОДЕРЖАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Задача, которую решает компьютер, сформулирована следующим образом:

- 1) Источником взрыва является резервуар со сжатым нереагирующим газом.
- 2) После аварийного взрыва образуется сферическая ударная волна, фронт которой с определенной скоростью перемещается по всем направлениям.
- 3) На некотором расстоянии от источника взрыва находится приемник ударной волны – человек.
- 4) Для изучения процессов техногенного взрыва резервуара со сжатым газом необходимо: определить параметры ударной волны; оценить поражающее действие взрыва на человека (ПРИЛОЖЕНИЕ).

Расчётная схема представлена на рис.2.

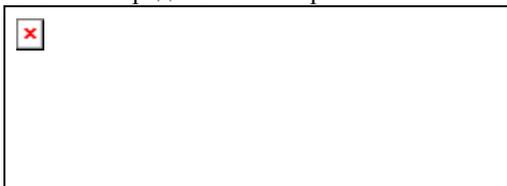


Рис.2. Расчётная схема :

1 – источник взрыва – резервуар со сжатым нереагирующим газом, 2 – приемник ударной волны, R_{pr} – расстояние от источника взрыва до приемника.

Количество выделяющейся при взрыве энергии зависит от энергии взрывной системы. Полное количество энергии физического взры-

ва сосуда под давлением, заполненного негорючим газом, определяется по величине работы, кДж, которую могут совершить адиабатно расширяющиеся газы:

$$E_n = \frac{P_1 - P_0}{k_s - 1} \cdot V_s = \frac{p_1}{k_s - 1} \cdot V_s,$$

где P_1 – абсолютное давление газа в сосуде непосредственно перед взрывом, кПа; P_0 – атмосферное давление, кПа; p_1 – избыточное давление газа в сосуде непосредственно перед взрывом, кПа; k_s – показатель адиабаты для газа, заполнявшего сосуд; V_s – геометрический объём сосуда, м³.

Давление, Па, на фронте ударной волны определяется по следующим формулам:
при $0 < R_s < 2$

$$p_s = \frac{P_0}{0,6 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + 29,805 \cdot R_s^3} \right)},$$

при $R_s \geq 2$

$$p_s = \frac{P_0}{0,6 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + 70 \cdot R_s^2} \cdot \ln(R_s / 2) + 1 \right)}.$$

Безразмерное расстояние от центра взрыва до фронта ударной волны

$$R_s = \frac{R_{np}}{X_0},$$

динамический параметр, м

$$X_0 = \sqrt[3]{\frac{k_{ye} \cdot E_n}{P_0}},$$

где R_{np} – расстояние от центра взрыва до приёмника ударной волны, м; k_{ye} – коэффициент перехода энергии взрывного процесса в энергию ударной волны.

Скорость, м/с, воздушного потока:
при $0 < R_s < 2$

$$u_s = \frac{0,3053 \cdot C_1}{R_s^{1,5}},$$

при $R_s \geq 2$

$$u_s = \frac{0,2159 \cdot C_1}{R_s \sqrt{\ln(R_s / 2) + 1}}.$$

Импульс фазы сжатия, Па·с

$$i_s = 0,04445 \cdot \frac{P_o \cdot X_o}{C_1 \cdot R_s}$$

Скорость звука, м/с, при атмосферном давлении

$$C_1 = \sqrt{\frac{k \cdot P_o}{\rho_o}}$$

где ρ_o – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³.

Скорость, м/с, движения фронта ударной волны

$$D = 0,25 \cdot u_s + 0,5 \cdot \sqrt{0,25 \cdot (k + 1)^2 \cdot u_s^2 + 4 \cdot C_1^2}$$

Перемещение зоны сжатия ударной волны в сторону меньшего давления приводит в движение частицы воздуха. Они перемещаются со скоростью u_s и создают напор, Па, на любую преграду:

$$p_{ex} = 0,5 \cdot \rho_s \cdot u_s^2$$

где ρ_s – плотность воздуха при давлении на фронте ударной волны, кг/м³.

Плотность воздуха при давлении сжатия

$$\rho_s = \frac{k + 1 \cdot \rho_o}{k - 1 \cdot \left[1 + 2 \cdot \frac{C_1^2}{D^2 \cdot (k - 1)} \right]}$$

Алгоритм расчета параметров ударной волны следующий:

- 1) Определяется значение энергии аварийного взрыва резервуара с нереагирующим газом высокого давления.
- 2) Вычисляется значение ТНТ–эквивалента (тротилового эквивалента) взрыва.
- 3) Рассчитывается значение избыточного давления воздуха на фронте ударной волны для заданного расстояния от источника взрыва до приемника.
- 4) Определяется скорость частиц воздуха, движущихся за фронтом волны.
- 5) Рассчитывается скорость движения фронта.
- 6) Определяется время перемещения волны от центра взрывной системы до приемника.
- 7) По вычисленным значениям рассчитываются удельный положительный импульс (импульс фазы сжатия), длительность фазы

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением компьютерной лабораторной работы необходимо:

- 1) Ознакомиться с содержанием данных методических указаний.
- 2) Изучить и усвоить цель лабораторной работы.
- 3) Прочитать содержание раздела «Общие сведения».
- 4) Изучить содержание математической модели.
- 5) Подготовит протокол работы.
- 6) Показать готовность к выполнению, ответив на вопросы преподавателя

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) Ознакомиться с компьютерной программой, открывая и просматривая содержание её разделов.
- 2) Открыть раздел "Вводимые величины", ознакомиться с вводимыми величинами.
- 3) Ознакомиться с разделом "Пример расчета".
- 4) Открыть "Таблицу вариантов" и по номеру варианта выбрать значения исходных данных.
- 5) Провести "Вычислительный эксперимент" и оформить протокол лабораторной работы.
- 6) Получить задание и провести дополнительные исследования.
- 7) Оформить отчет.

Протокол работы представлен следующими таблицами.

Таблица 1. Значения исходных величин		
№	Название величины	Значение величины
1	Диаметр цилиндрического резервуара, в котором до взрыва находился сжатый газ	
2	Длина цилиндрического резервуара	
3	Показатель адиабаты для газа, который находился в резервуаре до взрыва	
4	Избыточное давление сжатого газа в резервуаре до взрыва	
5	Плотность газа при нормальных условиях	
6	Температура воздуха	
7	Коэффициент перехода	
8	Расстояние от центра взрывной системы до приемника ударной волны	

Таблица 2. Энергия взрыва и тротильный эквивалент		
№	Название величины	Значение величины
1	Абсолютное давление сжатого газа в резервуаре перед взрывом	
2	Объем резервуара	
3	Плотность	

4	Масса газа в резервуаре	
5	Энергия техногенного взрыва	
6	Тропиловый эквивалент	

Таблица 3. Параметры ударной волны

№	Название величины	Значение величины
1	Расстояние от источника взрыва до приемника ударной волны	
2	Избыточное давление на фронте ударной волны	
3	Скорость движения фронта ударной волны	
4	Длительность фазы сжатия	
5	Удельный положительный импульс	
6	Скорость воздуха	
7	Динамический (скоростной) напор воздуха	

Таблица 4. Избыточное давление на фронте ударной волны

№	Расстояние до приемника, м	Избыточное давление, кПа
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Таблица 5. Время от момента взрыва до прихода фронта волны

№	Расстояние до приемника, м	Время прихода, мс
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Таблица 6. Параметры, определяющие воздействие взрыва на человека		
№	Название величины	Значение величины
1	Избыточное давление на фронте ударной волны	
2	Удельный положительный импульс (импульс фазы сжатия)	
3	Относительное избыточное давление на фронте ударной волны	
4	Импульс фазы сжатия, приведённый к атмосферному давлению и массе тела человека(70 кг)	
5	Импульс фазы сжатия, приведённый к массе тела человека(70 кг)	
6	Уровень звука у приёмника ударной волны	

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчет по компьютерной лабораторной работе должен включать:

- 1) Наименование лабораторной работы и номер варианта.
- 2) Цель работы.
- 3) Формулировку задачи, реализованной в компьютерной программе.
- 4) Алгоритм решения.
- 5) Значения исходных величин в соответствии с номером варианта.
- 6) Протокол работы с результатами вычислительного эксперимента в виде таблиц и графиков.
- 7) Результаты дополнительных исследований.
- 8) Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1) Что такое взрыв?
- 2) Назовите разновидности химических взрывов.
- 3) Назовите разновидности физических взрывов.
- 4) Что может стать причиной взрыва сосуда под давлением?
- 5) Как распределяется энергия взрывной системы во взрывном процессе?
- 6) С какой целью введено понятие тротилового эквивалента?
- 7) Как вычислить ТНТ-эквивалент взрывной системы по энергии взрывной системы?
- 8) Какие параметры характеризуют воздушную ударную волну?
- 9) Что служит параметром взрывного воздействия?
- 10) Из чего складывается первичное воздействие взрыва и какими эффектами взрывного воздействия сопровождается?
- 11) Из чего складывается вторичное воздействие взрыва и какими

- эффектами взрывного воздействия сопровождается?
- 12) Назовите критерии поражения человека при взрыве.
 - 13) Как сформулирована задача, которую решает компьютер?
 - 14) По какому алгоритму решается поставленная задача?
 - 15) Какое значение имеет избыточное давление на фронте ударной волны?
 - 16) Назовите результаты оценки поражающего действия взрыва на человека.

Литература

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн.1./Под ред. Кочеткова К.Е. М, Изд-во АСВ, 1995, 320 с.
2. Взрывные явления. Оценка и последствия. Кн.1. Пер. с англ./Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др. М., Мир, 1986, 360 с.
3. Коробейников В.П. Задачи теории точечного взрыва. М., Наука, 1985 , 350 с.
4. Маршалл В. К. Основные опасности химических производств. Пер. с англ. М., Мир, 1989, 672 с.
5. Чернов К.В. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Курс лекций. / ИГЭУ. – Иваново, 2001. – с.29–32.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Поражающее действие взрывов

Сжимающее (барическое) воздействие вызывается давлением воздуха внешней среды, увеличившимся при подходе фронта ударной волны. Части организма, имеющие существенную разницу в плотностях соседних тканей, наиболее поражаемы. Лёгкие содержат множество альвеол, которые обладают меньшей плотностью, чем ткани бронхов или кровеносных сосудов, и, следовательно, очень чувствительны к действию взрывной волны. В результате имплозии стенок брюшной полости, грудной клетки и движения диафрагмы вверх под действием взрывной волны происходит сжатие альвеол. Если движение стенок грудной клетки и плевры внутрь происходит слишком быстро и с большой амплитудой, то лёгкие заметно деформируются. Происходит сдвиг и перемещение менее плотного вещества лёгких относительно более плотных бронхов и лёгочных артерий.

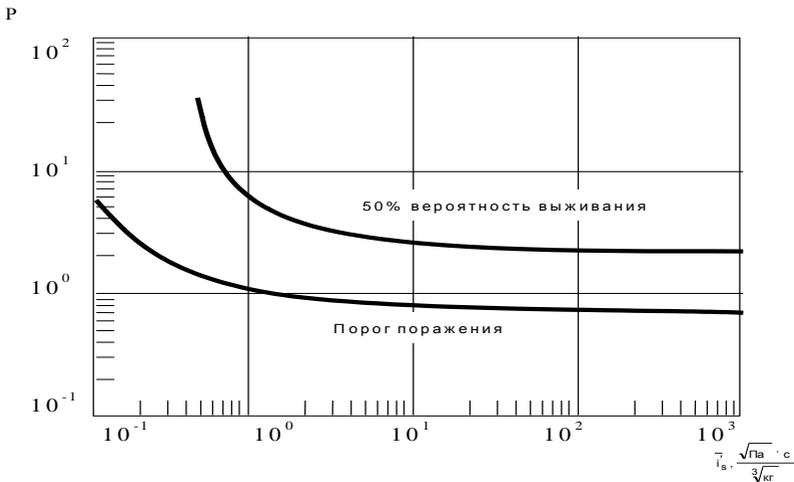


Рис.П1. Поражение органов дыхания человека:

$P = p_s / P_o$ – относительное избыточное давление,

$\bar{i}_s = i_s / \sqrt{P_o} / \sqrt[3]{m}$ – относительный импульс,

m – масса тела человека.

Повреждения лёгких являются причиной многих патофизиологических эффектов, среди которых: лёгочные кровотечения и отёк,

разрыв лёгких, закупорка кровеносных сосудов воздухом, потеря дыхательного запаса, образование мелких рубцов на лёгких. «Кривые» выживания при поражении органов дыхания приведены на рис.П1. Данные результаты предполагают, что «приёмник» (тело человека), на который набегает взрывная волна, расположен в свободном пространстве на плоской ровной поверхности земли в положении стоя. За исключением ситуаций, когда возникают отражённые волны, указанное состояние отвечает наиболее опасным условиям воздействия.

К другим последствиям барического воздействия взрыва относятся повреждения гортани, трахеи, брюшной полости, нервных окончаний спинного мозга и т.д.

Слуховой анализатор человека также проявляет высокую чувствительность к изменению давления. Ухо может откликаться на очень низкие (10^{-12} Вт/м²) величины потока акустической энергии, которые вызывают отклонение барабанной перепонки на расстояние, меньшее диаметра молекулы водорода. Однако оно не способно правильно реагировать на импульсы, период которых меньше 0,3 мс. При значительной величине потока акустической энергии такие импульсы вызывают отклонение барабанной перепонки большой амплитуды. Именно такая реакция может стать причиной разрыва барабанной перепонки, повреждений среднего уха и т.п.

«Кривые» поражения слухового анализатора при нормально падающей волне приведены на рис.П2.

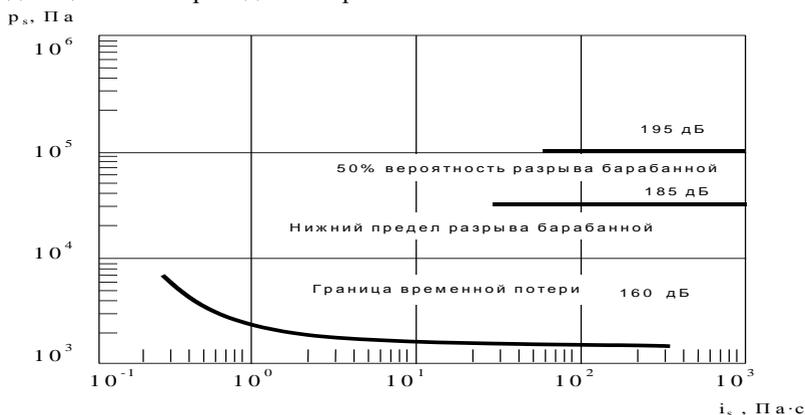


Рис.П2. Поражение органов слуха человека

При достаточно длительном акустическом воздействии границей временной потери слуха при нормально падающей волне является уровень звукового давления в 160 дБ, нижний предел разрыва бара-

банной перепонки наблюдается при 185 дБ; 50%-вероятности разрыва барабанной перепонки соответствует значение в 195 дБ.

Динамическое действие взрыва связано с образованием осколков и обломков, переносом предметов и тел. Осколки возникают при разрушении твёрдой оболочки взрывной системы. Их характеристиками, определяющими степень поражения, являются: масса, форма, плотность, площадь миделева сечения, скорость и угол падения при ударе. К патофизиологическим последствиям действия осколков относятся рваные раны кожи, проникающие ранения внутренних органов, грубые травмы, переломы черепа и проломы костей. Скорость, м/с, осколка, при которой в 50% случаев кожный покров пробивается насквозь, определяется по следующему выражению:

$$u_{оск} = 1247,1 \frac{F_{оск}}{M_{оск}} + 22,03 ;$$

где $F_{оск}$ – миделево сечение осколка, м²; $M_{оск}$ – масса, кг.

Пороговой скоростью для осколка массой 4,54 кг, при которой наблюдается пролом черепа, является значение – 4,57 м/с, поражающей на 100% – 7,01 м/с.

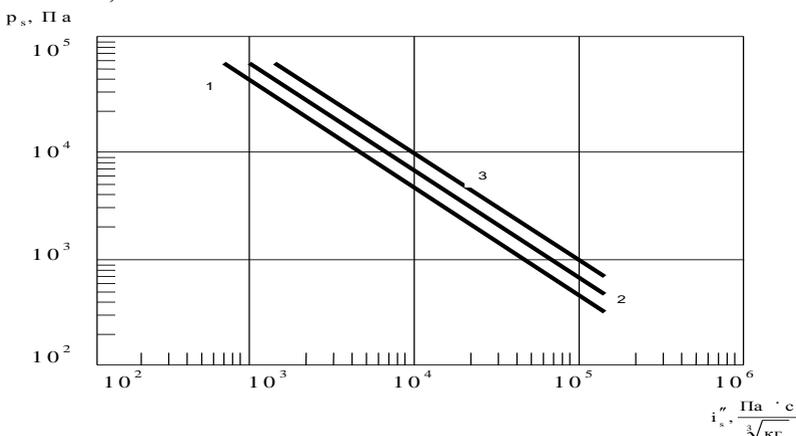


Рис ПЗ. Поражение при тормозящем ударе головой:

1 – порог допустимого повреждения, соответствующий относительной скорости при ударе головой о твёрдую преграду $u_T = 3,96 \text{ м/с}$; 2 – 50% вероятность летального исхода, $u_T = 5,46 \text{ м/с}$; 3 – 100% вероятность летального исхода, $u_T = 7,01 \text{ м/с}$;

$$\overline{i_s''} = i_s / \sqrt[3]{m} - \text{приведённый импульс фазы сжатия.}$$

Поражения человека происходят также вследствие переноса тела и последующего тормозящего удара. Под действием избыточного

давления фронта волны возникает воздушный поток. Скоростной напор этого потока может оторвать тело от твердой опоры и перенести его на определенное расстояние. Повреждения возникают либо на стадии ускорения, либо во время тормозящего удара о твердую преграду. Степень повреждения при тормозящем ударе более значительна. Она определяется изменением скорости тела в момент удара.

При ударах о твердую преграду более уязвимой оказывается голова человека. Данные для оценки возможности летального исхода приведены на рис. П3.

При тормозящем ударе возможны также переломы костей и травмы других жизненно важных органов. Данные для оценки возможности летального исхода приведены на рис.П4.

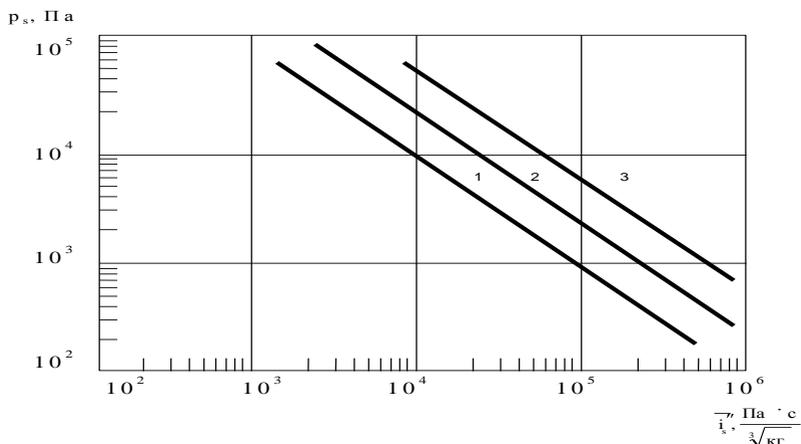


Рис. П4. Поражение при тормозящем ударе другими частями тела:

1 – порог летального исхода $u_T = 6,4$ м/с; 2 – 50% вероятность летального исхода, $u_T = 16,46$ м/с; 3 – 100% вероятность летального исхода, $u_T = 42,06$ м/с

Если при взрыве образуются высокотемпературные продукты, то они становятся источником теплового воздействия, вызывающего поражение при соприкосновении с ними или при инфракрасном излучении. Токсичные продукты взрыва становятся причиной ингаляционного воздействия.