

ББК 69.68
К 59

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

кафедра управления подразделениями в мирное время
Саратовского филиала Военного артиллерийского университета;
заведующий лабораторией надежности и взрывобезопасности ДОО
«ВНИПИГаздобыча», канд. техн. наук, ст. научн. сотр. В.А. Сорокованов

Одобрено
редакционно-издательским советом
Саратовского государственного технического университета

Козлитин А.М., Яковлев Б.Н.

К 59 **Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка.** Детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учеб. пособие./Под ред. А.И. Попова. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. 124 с.

ISBN 5-7433-0664-8

В учебном пособии рассмотрены детерминированные методы прогнозирования и оценки уровня безопасности промышленных регионов при чрезвычайных ситуациях техногенного характера.

Пособие предназначено для студентов, аспирантов и преподавателей, а также для инженерно-технических работников учреждений, предприятий и организаций.

УДК 389.17:006.354
ББК 69.68

© Саратовский государственный
технический университет, 2000

© Козлитин А.М.,
Яковлев Б.Н., 2000

ISBN 5-7433-0664-8

www://risk-2005.narod.ru/

kammov@gmail.com

Глава 2

ОЧАГИ ПОРАЖЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Объекты, на которых производят, используют, перерабатывают, хранят или транспортируют легковоспламеняющиеся и пожаровзрывоопасные вещества, создающие реальную угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации, относятся к пожаровзрывоопасным объектам (ПВОО).

При возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций на таких производствах, сопровождающихся взрывами и пожарами, которые часто сопутствуют один другому, формируются поля поражающих факторов, в качестве которых рассматриваются:

- воздушная ударная волна (ВУВ), образующаяся в результате взрывных превращений облаков газопаровоздушных смесей (ГПВС) или в результате взрыва твердых (конденсированных) взрывчатых веществ (ТВВ);
- тепловое излучение огневых шаров и горящих разлитий;
- осколки и обломки оборудования;
- обломки зданий и сооружений, образующиеся в результате взрыва ТВВ или облаков ГПВС.

2.1. Взрыв газопаровоздушной смеси. Очаг взрыва

Одной из наиболее серьезных опасностей пожаровзрывоопасных производств является газопаровое облако, которое образуется при мгновенном разрушении резервуаров хранения или испарении разлитых жидкостей. Образование газопарового облака может привести к появлению трех типов опасностей:

- взрыву газопаровоздушной смеси;
- крупному пожару;
- токсическому воздействию.

Смесь углеводородных продуктов (метана, этилена, пропана, паров бензина, циклогексана и др.) с кислородом воздуха называется газопаровоздушной смесью (ГПВС). Эта смесь может либо взрываться либо воспламеняться. Воспламеняемость и взрываемость тесно связаны друг с другом и поэтому трудно предсказать, что произойдет при воспламенении ГПВС - взрыв или пожар, так как это зависит от определенной концентрации углеводородов в объеме воздуха. Данное свойство ГПВС определяется концентрационными пределами воспламенения рассматриваемого вещества и характеризуется количеством газа в 1 м^3 воздуха, при котором возможно воспламенение газовой смеси. Так, например, возгорание смеси пропана с воздухом происходит при наличии в 1 м^3 воздуха не менее 95 л газа, а взрываемость при значительно меньших концентрациях: в 1 м^3 воздуха не более 21 л пропана.

При аварийных взрывах ГПВС размеры зон разрушений и параметры избыточного давления ВУВ зависят от количества взрывоопасного вещества и его физико-химических свойств. Физико-химические характеристики наиболее распространенных газо- и паровоздушных смесей, образу-

щихся при авариях в химической и нефтехимической промышленности, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Физико-химические характеристики наиболее распространенных газо- и паровоздушных смесей

Горючий компонент ГПВС	Тип смеси	Молекулярная масса горючего μ	ρ _{стх} , кг/м ³	С _{стх} , об %	С _{нкпд} , об %	Объемные концентрационные пределы воспламенения смеси, об %		Р _{max} , кПа
						С _{нпв}	С _{впв}	
Водород	ГВС	2	0,933	29,59	15	4	75	739
Метан	ГВС	16	1,232	9,45	–	5	15	720
Этан	ГВС	30	1,250	5,66	2,87	2,9	15	675
Пропан	ГВС	44	1,315	4,03	–	2,1	9,5	860
Бутан	ГВС	58	1,328	3,13	2,57	1,8	9,1	860
Гексан	ПВС	86	1,340	2,16	1,98	1,2	7,5	865
Ацетилен	ГВС	26	1,278	7,75	–	2,5	81	1030
Этилен	ГВС	28	1,285	6,54	9,7	3,0	32	886
Пропилен	ГВС	42	1,314	4,46	3,32	2,2	10,3	648
Бензол	ПВС	78	1,350	2,84	–	1,4	7,1	900
Толуол	ПВС	92	1,350	2,23	–	1,3	6,7	634
Циклогексан	ПВС	84	1,340	2,28	–	1,2	10,6	858
Ацетон	ПВС	42	1,210	4,99	–	2,2	13,0	893
Аммиак	ГВС	17	1,180	19,72	–	15	28	600
Окись углерода	ГВС	28	1,280	29,59	–	12,5	74	730
Винилхлорид	ГВС	62,5	1,40	7,75	–	–	–	820
Бензин (авиационный)	ПВС	93,6	1,35	2,1	1,5	1,2	7,5	–

При взрыве газо- или паровоздушной смеси образуется воздушная ударная волна.

Территория, подвергаясь воздействию ударной волны, называется очагом взрыва. Его внешняя граница проходит через точки на местности с избыточным давлением во фронте ВУВ $\Delta P_{\phi} = 3$ кПа. В очаге взрыва ГПВС принято выделять следующие круговые зоны, рис.2.1.

В пределах зоны ВУВ, с целью прогнозирования последствий взрыва, выделяют зоны разрушений.

Зона полных разрушений - $\Delta P_{\phi} = 100$ кПа, 100% безвозвратных потерь среди населения, полное разрушение зданий и сооружений.

Зона сильных разрушений - $\Delta P_{\phi} = 70$ кПа, до 90% безвозвратных потерь среди незащищенного населения, полное и сильное разрушение зданий и сооружений.

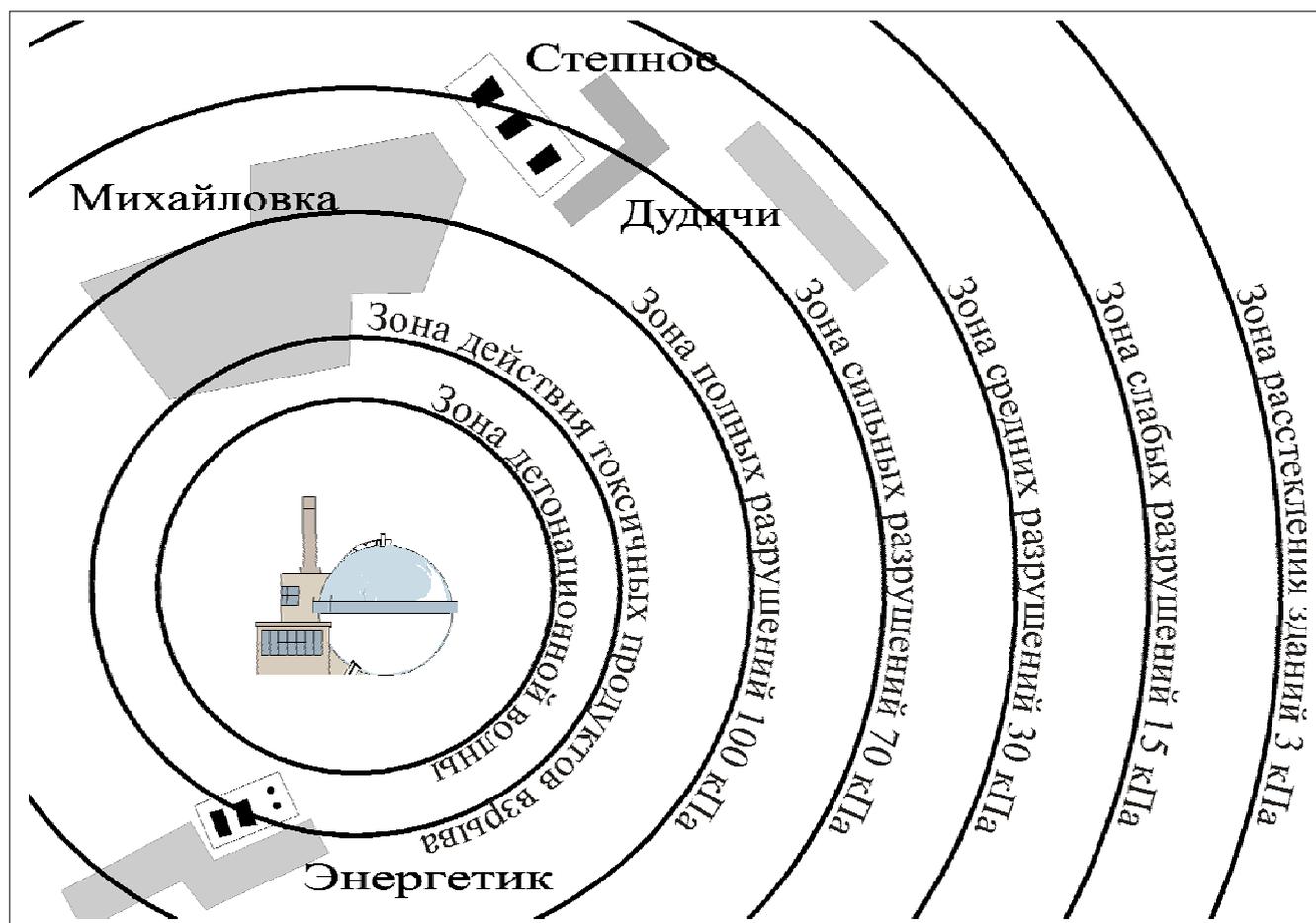


Рис.2.1. Зоны разрушений при взрывах ГПВС

Зона средних разрушений - $\Delta P_{\phi} = 30$ кПа, до 20% безвозвратных потерь среди незащищенного населения, среднее и сильное разрушение зданий и сооружений.

Зона слабых разрушений - $\Delta P_{\phi} = 15$ кПа, слабое и среднее разрушение зданий и сооружений.

Зона расстекления зданий и сооружений - $\Delta P_{\phi} = 3$ кПа. Внешняя граница данной зоны определяет безопасное эвакуационное расстояние.

Характер воздействия ВУВ на человека, здания и сооружения зависит от типа взрыва. Различают два основных типа - детонационный и дефлаграционный взрывы. Поэтому при прогнозировании последствий аварий на пожаровзрывоопасных объектах необходимо предварительно идентифицировать наиболее вероятный режим взрывного превращения ГПВС.

2.1.1. Определение режима взрывного превращения облака ГПВС

По классу пространства, окружающего место воспламенения облака ГПВС (табл.2.2) и классу вещества, участвующего во взрыве (табл.2.3) по экспертной таблице Института химической физики РАН (табл.2.4) определяется класс режима горения вещества.

Таблица 2.2

Характеристика классов пространства,
 окружающего место потенциальной аварии

№ класса	Характеристика пространства
1	Наличие смежных объемов, длинных труб, полостей, заполненных горючей смесью и т.д.
2	Сильно загроможденное пространство: наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий
3	Среднезагроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк
4	Слабо загроможденное и свободное пространство

Таблица 2.3

Классификация взрывоопасных веществ

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
1	2	3	4
ацетилен винилацетилен водород гидразин метилацетилен нитрометан окись пропилена изопропилнитрат окись этилена этилнитрат	акрилонитрил акролеин аммиак бутан бутилен пентадиен бутадиен пропан пропилен сероуглерод этан этилен эфирь: диметиловый дивиниловый метилбутиловый ШФЛУ	ацетальдегид ацетон бензин винилацетат винилхлорид гексан генераторный газ изооктан метиламин метилацетат метилбутил кетон метилпропил метилэтил октан сероводород циклогексан этилхлорид	бензол декан дизтопливо дихлорбензол додекан керосин метан метилбензол метилмеркаптан метилхлорид нафталин окись углерода фенол хлорбензол этилбензол

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

Таблица 2.4

Экспертная таблица (класс режима горения)

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

По классу режима горения вещества определяется режим взрывного превращения облака ГПВС и диапазон скоростей распространения фронта пламени ω м/с (табл. 2.5)

Таблица 2.5

Классификация режимов взрывных превращений облака ГПВС по диапазонам скоростей распространения фронта пламени

Класс режима горения	Режимы взрывных превращений облака ГПВС
1	Детонация или горение со скоростью фронта пламени $\omega \geq 500$ м/с
2	Дефлаграция, $\omega = 300-400$ м/с
3	Дефлаграция, $\omega = 200-300$ м/с
4	Дефлаграция, $\omega = 150-200$ м/с
5	Дефлаграция, $\omega = k_1 \cdot M^{1/6}$, где $k_1 = 35 \div 43$; М – масса топлива в облаке ГПВС в тоннах
6	Дефлаграция, $\omega = k_2 \cdot M^{1/6}$, где $k_2 = 17 \div 26$

2.1.2. Оценка инженерной обстановки при детонационных взрывах ГПВС

Детонационный взрыв характерен прежде всего для твердых ВВ (тротила, динамита и т.д.) и ГПВС газообразных углеводородов в замкнутом или сильно “загроможденном” пространстве (промзастройка с высокой плотностью размещения технологического оборудования, лес, заросший кустарником и т.п.). Детонационный взрыв в облаке ГПВС в “открытом” пространстве возможен только при истечении в атмосферу ацетилена и водорода, а также при образовании смесей кислорода с газообразными углеводородами.

При детонации процесс горения распространяется по веществу со сверхзвуковой скоростью и после окончания детонации от границы облака взрыва также со сверхзвуковой скоростью начинает двигаться воздушная ударная волна и формируется очаг взрыва с характерными зонами разру-

шений. В очаге взрыва в открытой атмосфере можно выделить две зоны: детонации (детонационной волны) и распространения (действия) ударной волны.

Определение размеров зон разрушений и избыточного давления ВУВ на расстоянии r_i от места взрыва ГПВС проводится в следующей последовательности:

1. Определяется радиус зоны детонации волны r_0

$$r_0 = k \cdot \sqrt[3]{\chi \cdot Q_n}, \text{ м}, \quad (2.1)$$

где Q_n – количество вещества (в тоннах), разливающегося или вытекающего из разгерметизированной ёмкости (хранилища);

χ – коэффициент, характеризующий объём газов или паров вещества, переходящих в стехиометрическую смесь (по данным различных источников, он может изменяться для сжиженных под давлением газов от 0.4 до 0.6);

k – эмпирический показатель, позволяющий учитывать различные условия возникновения взрыва, включая некоторые энергетические характеристики газопаровоздушной смеси, состояние атмосферы, форму облака, мощность (энергию) источника воспламенения и место его инициирования, другие особенности развития аварийной ситуации. При экспресс-оценке k принимается равным 18,5.

2. Определяется отношение r_i/r_0 .

3. По табл. 2.6 определяется величина избыточного давления ΔP_ϕ , кПа на расстоянии r_i , м от места взрыва.

Пользуясь данными табл.2.6, при известных (вычисленных по приведенной выше формуле) значениях радиуса зоны детонации (r_0) и максимальных значениях избыточного давления для различных веществ, взятых из табл.2.1, можно определить радиусы зон с расчетными значениями избыточного давления на внешних границах этих зон. Например, при взрыве пропано-воздушной смеси, образовавшейся в результате разгерметизации емкости с десятью тоннами сжиженного пропана, радиус зоны детонации будет равен:

$$r_0 = 18,5 \cdot \sqrt[3]{0,6 \cdot 10} = 33 \text{ м},$$

Максимальное давление в зоне детонации $\Delta P_{\max}=900$ кПа. По табл.2.6 (вторая строка сверху) получим: давление $\Delta P_\phi=100$ кПа соответствует отношению $r_1/r_0=1.8$. Тогда радиус зоны полных разрушений (при $r_0=33$ м) будет равен $33 \cdot 1,8 = 59,4$ м.

Таблица 2.6

Избыточное давление в очаге взрыва

P _{max} в зоне детонации, кПа	Значение ΔP _ф , кПа, на расстояниях r _i от центра взрыва в долях от r ₀ (r _i /r ₀)													
	1	1,32	1,4	1,8	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10	12	15	20	30
500	500	100	90	55	48	25	15	8	5	4	3	2,5	1,5	1,0
900	900	180	162	100	86	45	26	14	9	7	5	4,5	2,7	1,8
1000	1000	200	180	110	96	50	29	16	10	8	6	5	3	2
1700	1700	340	306	195	163	82	50	28	18	13	10	8	5	3,7

2.1.3. Оценка инженерной обстановки при дефлаграционных взрывах ГПВС

В облаках ГПВС, сформировавшихся в “открытом” или слабо “загроможденном” пространстве, наиболее вероятен режим дефлаграционного горения углеводородных газов без эффекта детонации.

При дефлаграционных взрывах скорость распространения пламени по веществу меньше звуковой и может изменяться в широких пределах. Характер изменения избыточного давления при таком взрыве иной, чем при детонации: его нарастание происходит медленнее и максимальное давление меньше, но продолжительность действия больше. Такое нагружение ближе к статическому и может оказаться опаснее для строительных конструкций, чем более интенсивная, но кратковременная нагрузка при детонационном взрыве.

Определение размеров зон разрушений и избыточного давления ВУВ на расстоянии r_i от места взрыва ГПВС проводится в следующей последовательности:

1. Определяется режим взрывного превращения облака ГПВС (параграф 2.1.1).
2. Определяется избыточное давление во фронте воздушной ударной волны на расстоянии L от центра взрыва.

Избыточное давление во фронте воздушной ударной волны на расстоянии L от центра взрыва равно:

$$\Delta P_0 = \frac{P_{MAX}}{1 + B \left(\frac{L}{L_H} - 1 \right)^C}, \text{ кПа.} \quad (2.2)$$

Максимальное избыточное давление P_{MAX} не зависит от количества взрывающегося вещества и определяется зависимостью:

$$\begin{cases} P_{MAX} = 212,73 \frac{\alpha^2}{1 + \alpha}; \\ \alpha = \frac{\omega}{a_0}; \end{cases} \quad (2.3)$$

где a_0 - скорость звука в воздухе ($a_0 = 340$ м/с);

ω - скорость распространения пламени (табл. 2.5).

Радиус облака сгоревших газов при дефлаграционном взрыве L_H определяется следующей зависимостью:

$$L_H = 101,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{\chi \cdot \sigma \cdot G}{\mu \cdot C_{НПВ}}}, \text{ м}, \quad (2.4)$$

$$\sigma = 4 + 4 \frac{C_{НПВ}}{C_{СТХ}},$$

где σ - степень расширения сгоревших газов;

G - масса вещества, участвующего во взрыве, т;

χ - коэффициент, зависящий от вида и способа хранения вещества, определяется по табл. 2.7;

μ - молекулярная масса вещества (табл. 2.1);

$C_{НПВ}$ - нижний концентрационный предел воспламенения смеси, об.%, (табл.2.1);

$C_{СТХ}$ - удельная концентрация стехиометрической смеси, об.%, (табл.2.1).

Расстояние от центра взрыва до точки с избыточным давлением ΔP определяется из следующего выражения:

$$L = \left[1 + \left(\frac{P_{MAX}}{\Delta P} - 1 \right)^{\frac{1}{C}} \cdot B^{-\frac{1}{C}} \right] \cdot L_H. \quad (2.5)$$

Таблица 2.7

Коэффициент χ , зависящий от вида и способа хранения вещества

Вид и способ хранения вещества	χ
Сжиженные под давлением газы	0,4 – 0,6
Газы, хранящиеся при нормальном атмосферном давлении	1
Сжиженные путем охлаждения газы	0,1
При растекании легко воспламеняющихся жидкостей	0,02 – 0,07

Значения коэффициентов B и C в зависимости от относительной скорости распространения пламени в облаке ГПВС α приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Коэффициенты В и С для вычисления избыточного давления
на фронте ударной волны при дефлаграционном взрыве

α	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
В	0,588	0,567	0,687	0,546	0,467	0,595	0,497	0,362	0,476	0,432	0,257
С	1,146	1,146	1,0	1,048	1,14	1,115	1,002	1,061	1,149	1,09	1,004

2.2. Крупномасштабные пожары. Очаги теплового поражения

Основная опасность открытых технологических установок химической и нефтеперерабатывающей промышленности – это высокая степень вероятности возникновения крупномасштабных пожаров. Крупномасштабный пожар можно определить как пожар, отличающийся от обычного промышленного пожара высокой интенсивностью горения и скоростью развития, быстрым распространением огневого фронта и созданием обширных зон загазованности. Такие пожары включают пожары разлития и огневые шары.

2.2.1. Пожары разлития

Пожар разлития представляет собой разлитие воспламеняющейся жидкости, горящее устойчивым диффузионным пламенем. Такой пожар возникает при нарушении целостности и истечении жидкости низкой вязкости из технологических установок. Пожары разлития наиболее характерны для товарно–сырьевых парков объектов нефтепереработки и нефтехимии.

При пожарах разлития образуются зоны горения, теплового воздействия и загазованности. На рис.2.2 показан очаг теплового поражения человека при круговой форме пожара разлития.

Линейные размеры разлития зависят от объема вытекшей жидкости и условий растекания.

При свободном растекании диаметр разлития может быть определен из соотношения:

$$D = \sqrt{25,5 \cdot V} \quad (2.6)$$

где D – диаметр разлития, м;

V – объем легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ), м³.

Величина теплового потока q на заданном расстоянии L от горящего разлития вычисляется по формуле:

$$q = 0,8 \cdot I_0 \cdot e^{-0,03 \cdot L}, \quad (2.7)$$

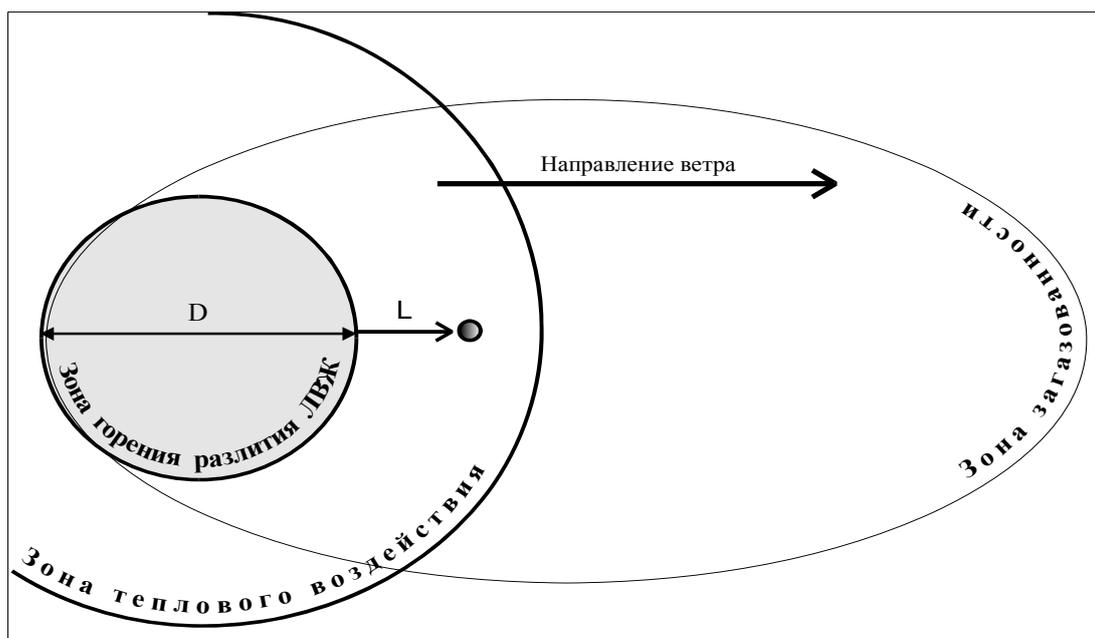


Рис.2.2. Очаг теплового поражения при пожаре разлива

где I_0 – тепловой поток на поверхности факела, кВт/м², значения которого приведены в табл. 2.9;

L – расстояние до фронта пламени, м.

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

$$L = 33,3 \cdot \ln \left(0,8 \frac{I_0}{q} \right). \quad (2.8)$$

Таблица 2.9

Тепловой поток на поверхности факела от горящих разливов

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

Возможности воспламенения различных материалов определяются по табл. 2.10

Таблица 2.10

Тепловые потоки, вызывающие воспламенение некоторых материалов

Материалы	Тепловой поток (кВт/м ²), вызывающий воспламенение за время (с)			
	15	180	300	900
Древесина	53	19	17	14
Кровля мягкая	46	–	–	–
Парусина	36	–	–	–
Резина автомобильная	23	22	19	15
Слоистый пластик	–	22	19	15
Бумага	–	22	20	17
Солома	40	15	–	–

2.2.2. Огневые шары

Огневой шар представляет собой большой объем сгорающей массы топлива или парового облака, поднимающийся над поверхностью земли. Образование огневых шаров возможно при авариях со сжиженными воспламеняющимися газами (пропан, пропилен, мономерный винилхлорид, сжиженный нефтяной газ) в результате разрушения резервуаров высокого давления и выбросе содержимого в окружающее пространство. Мгновенно сформировавшееся аэрозольное облако углеводородных продуктов переобогащенное топливом и неспособное, поэтому объемно детонировать, начинает гореть вокруг своей внешней оболочки и вытягивается, образуя огневой шар. Такие огневые шары излучают потоки тепловой энергии, что может вызвать смертельные ожоги и зажечь легковоспламеняющиеся предметы.

Поднимаясь, огневой шар образует грибовидное облако, ножка которого - сильно восходящее конвективное течение. Такое течение всасывает продукты разлития и воздух внутрь шара, поддерживая горение. Наиболее высокая вероятность появления огневых шаров у сжиженных воспламеняющихся газов (типа пропилена) и сжатых воспламеняющихся газов (типа этилена).

Радиус огневого шара равен

$$R_0 = 27,5 \cdot Q_p^{\frac{1}{3}}, \text{ м}, \quad (2.9)$$

где Q_p – масса углеводородных продуктов в тоннах.

Время свечения огневого шара:

$$T = 3,8 \cdot Q_p^{\frac{1}{3}}, \text{ с}. \quad (2.10)$$

Характер теплового поражения человека и степень ожогов приведены в табл. 2.11

Таблица 2.11

Характер теплового поражения человека

Степень ожога	Тепловой импульс I_t , кДж/м ²	Характер поражения
Первая	80-100	Покраснение и припухлость кожи. В лечении не нуждаются
Вторая	160-400	Образование на коже пузырей, наполненных жидкостью, потеря трудоспособности. Необходимо лечение
Третья	400-600	Полное разрушение кожного покрова, образование язв. Необходимо длительное лечение
Четвертая	Свыше 600	Омертвление подкожной клетчатки, мышц и костей, обугливание. Возможен смертельный исход

Тепловой импульс I_t – количество тепловой энергии, выделяемой на единице площади облучаемой поверхности, находящейся на расстоянии L от центра шара, определяется из выражения

$$I_t = \frac{0,8 \cdot 10^6 \cdot Q_P^{\frac{2}{3}}}{L^2} \cdot F_R, \text{ кДж/м}^2, \quad (2.11)$$

где F_R – коэффициент ослабления теплового потока атмосферой ($F_R \approx 0,35$). В очаге поражения выделяют четыре круговых зоны ожогов, рис. 2.3

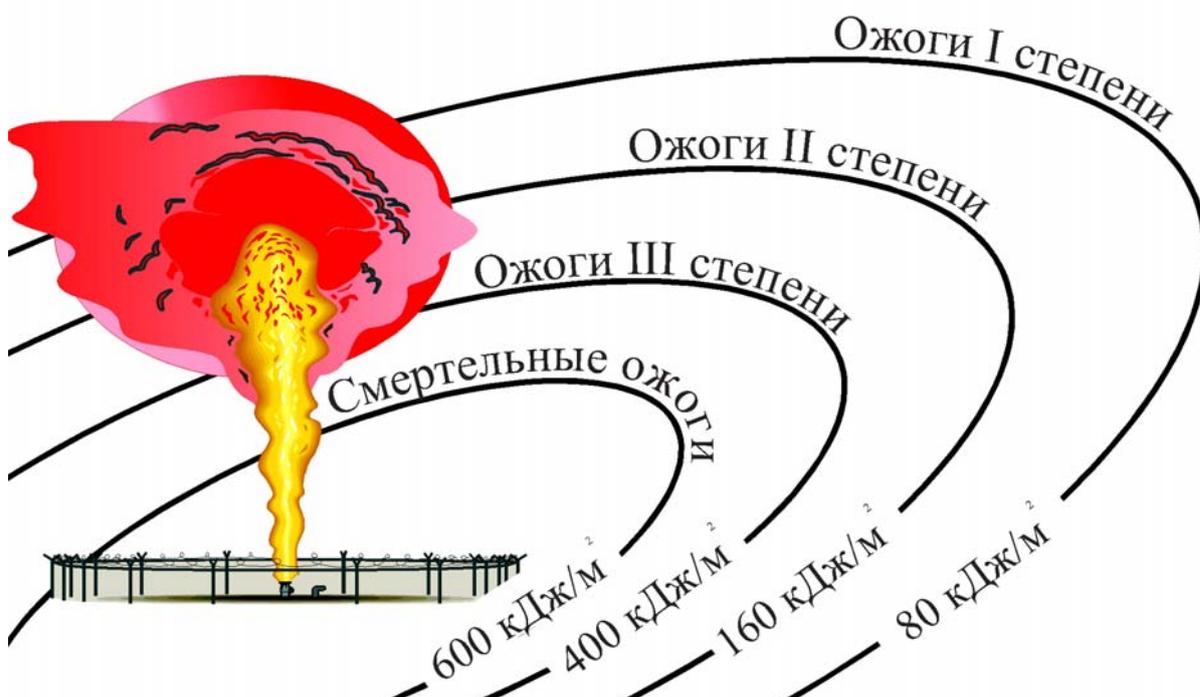


Рис.2.3. Зоны теплового поражения человека

2.3. Очаги поражения, возникающие при взрывах твердых взрывчатых веществ

2.3.1. Зонирование очага взрыва

В очаге взрыва по действию воздушной ударной волны принято выделять четыре круговых зоны разрушений, рис. 2.4.

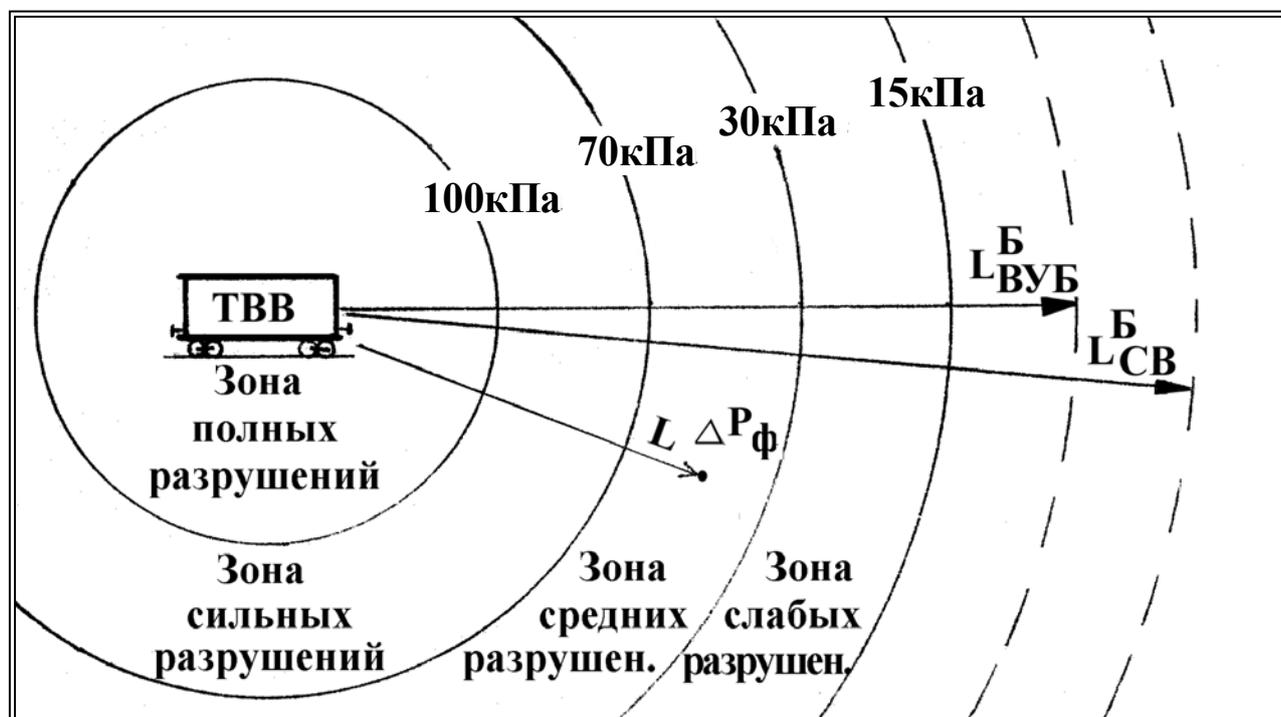


Рис.2.4. Очаг взрыва ТВВ

Для защиты людей, зданий, сооружений от поражающего или разрушающего действия ВУВ устанавливается безопасное расстояние $L_{ВУВ}^Б$. Расстояние, на котором колебания грунта, вызываемые взрывом ТВВ, становятся безопасными для зданий и сооружений, является безопасным по сейсмическому воздействию $L_{СВ}^Б$.

2.3.2. Определение размеров зон разрушений

Определение избыточного давления во фронте ударной волны при наземном взрыве ТВВ осуществляется по экспериментальным зависимостям, полученным на основе теории подобия:

$$\Delta P_{\phi} = 100 \frac{\sqrt[3]{G_3}}{L} + 430 \frac{\sqrt[3]{G_3^2}}{L^2} + 1400 \frac{G_3}{L^3}, \quad (2.12)$$

где ΔP_{ϕ} – избыточное давление во фронте ударной волны, кПа;

L – расстояние от центра взрыва до точки, в которой определяется величина избыточного давления, м;
 G_3 – эквивалентное (тринитротолуолу) количество ВВ, кг.

$$G_3 = K_3 G, \quad (2.13)$$

где G – количество данного ВВ, кг;
 K_3 – коэффициент эквивалентности данного взрывчатого вещества тринитротолуолу (ТНТ).

$$K_3 = \frac{C_V^{ВВ}}{C_V^{ТНТ}}, \quad (2.14)$$

где $C_V^{ВВ}$ – теплота взрыва данного ВВ, кДж/кг;
 $C_V^{ТНТ}$ – теплота взрыва тринитротолуола, кДж/кг.

Теплота взрыва рассматриваемых промышленных ВВ приведена в табл.2.12.

Таблица 2.12

Теплота взрыва конденсированных взрывчатых веществ

Взрывчатое вещество	C , кДж/кг	Взрывчатое вещество	C , кДж/кг
Тринитротолуол (тро-тил)	4240	Гексоген	5540
ТЭН (тетранитропента-этрит)	5880	Динитробензол	3650
Тринитробензол	4520	Тринитроанилин	4161
Пикрат аммония	3360	Октоген	5420
Гликольдинитрат	6640	Тринитрохлорбензол	4240
Нитрогуанидин	3020	Дымный порох	2790
Пироксилин (13)	4370	Аммонийная селитра	1440
Аммотол 80/20	4200	Оксиликвиты (поглоти-тели: торф, мох, дре-весная мука)	3800-4200
Тетрил	4600	Детонит “М”	5780
Динамит	5300	Пикриновая кислота	4400
Динамон	4200	Аммонит	3980

Для определения размеров зон разрушений в очаге взрыва рассчиты-вается зависимость $L=f(G_3)$ для фиксированных значений избыточного давления $\Delta P_\phi = \text{const}$.

2.3.3. Определение ΔP_ϕ на расстоянии L от центра взрыва

1. Определяется расчетный параметр L_0 :

$$L_0 = \sqrt[3]{G_3}, \quad (2.15)$$

где G_3 – эквивалентное количество ВВ, кг.

2. Рассчитывается коэффициент $k=L/L_0$:

где L – расстояние в метрах от центра взрыва до точки, в которой определяется величина избыточного давления ΔP_ϕ .

3. По таблице 2.13 определяется величина ΔP_ϕ :

Таблица 2.13

Значения избыточного давления

$k=L/L_0$	337.1	203.6	146.6	103.8	53.96	37.33	23.96
ΔP_ϕ , кПа	0.3	0.5	0.7	1.0	2.0	3.0	5.0
$k=L/L_0$	13.8	10.8	8.48	7.97	7.2	6.85	6.57
ΔP_ϕ , кПа	10	14	20	22	26	28	30
$k=L/L_0$	6.1	5.72	5.55	5.14	4.9	4.1	3.62
ΔP_ϕ , кПа	34	38	40	46	50	70	90
$k=L/L_0$	3.43	2.49	2.09	1.85	1.69	1.44	1.28
ΔP_ϕ , кПа	100	200	300	400	500	750	1000

2.3.4. Определение безопасных расстояний при хранении ТВВ

Для защиты людей, зданий, сооружений от поражающего или разрушительного действия ударной воздушной волны между местами хранения и нахождения людей или размещения объектов должны обеспечиваться достаточные расстояния.

При хранении ТВВ также должны устанавливаться безопасные расстояния по факторам сейсмического воздействия взрывов на здания и сооружения.

Расстояния, за пределами которых воздушная ударная волна (ВУВ) на земной поверхности теряет способность наносить повреждения зданиям и сооружениям, рассчитываются по формулам:

$$L_{\text{ВУВ}}^{\text{Б}} = K_{\text{Б}} \sqrt[3]{G_3}, \quad \text{при } G_3 \geq 10^4 \text{ кг} \quad (2.16)$$

$$L_{\text{ВУВ}}^{\text{Б}} = K'_{\text{Б}} \sqrt{G_3}, \quad \text{при } G_3 < 10^4 \text{ кг}$$

где $L_{\text{ВУВ}}^{\text{Б}}$ - безопасное расстояние по действию ВУВ для зданий и сооружений, м;

G_3 - эквивалентное количество ТВВ, кг;

$K_{\text{Б}}$, $K'_{\text{Б}}$ - коэффициенты пропорциональности, величина которых зависит от массы заряда и степени допускаемых повреждений зданий или сооружений (табл.2.14).

Условия применения указанных формул регламентированы Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

При выборе допустимой степени повреждений и значений коэффициентов должна учитываться вся совокупность местных условий. В сложных случаях перечисленные показатели принимаются решением руководителей

администрации промышленного региона, местного органа Госгортехнадзора и комитета ГО и ЧС.

В общих случаях при расчетах безопасного расстояния $L_{\text{ВУВ}}^{\text{Б}}$ от складов и площадок хранения ТВВ до населенных пунктов и железнодорожных магистралей, крупных водных путей, заводов, складов взрывчатых и огнеопасных материалов и сооружений государственного значения принимается третья степень повреждения (табл. 2.14).

$$L_{\text{ВУВ}}^{\text{Б}} = 40\sqrt[3]{G_3} . \quad (2.17)$$

При углублении или обваловании хранилищ или площадок с ТВВ безопасное расстояние рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{ВУВ}}^{\text{Б}} = 3\sqrt{G_3} . \quad (2.18)$$

Таблица 2.14

Допустимые степени повреждений зданий или сооружений

Степень повреждения	Возможные повреждения	Хранение ТВВ в хранилищах и на площадках					
		не обвалованных			обвалованных		
		G, т	K _Б	K' _Б	G, т	K _Б	K' _Б
1-я	Отсутствие повреждений	>10	400	-	>20	200	-
		<10	-	100	<20	-	35
2-я	Случайные повреждения застекления	>10	100	-	>20	50	-
		<10	-	20	<20	-	10
3-я	Полное разрушение застекления; частичные повреждения рам, дверей, нарушение штукатурки и внутренних легких перегородок	>10	40	-	>10	-	3
		<10	-	6	-	-	-
4-я	Разрушение внутренних перегородок, рам, дверей, барраков, сараев и т.п.	>10	-	3	>10	-	1-2
		<10	-	3	<10	-	-
5-я	Разрушение малостойких каменных и деревянных зданий, опрокидывание ж/д составов	>10	-	1.5-2.0	>10	-	0.5-1.0
		<10	-	1.5-2.0	<10	-	-

2.4. Определение ожидаемых потерь в очаге взрыва

Ожидаемые потери в очаге взрыва зависят от расположения людей по зонам разрушений и от степени их защищенности.

$$M_k(N) = \sum_{k=1, p}^m \sum_{j=1}^n (N_i C_i)_j, \quad (2.19)$$

где $M_k(N)$ –ожидаемые потери k-й степени тяжести;

- N_i – число людей с i -й степенью защиты оказавшихся в j -й зоне разрушений;
 C_i – доля потерь среди людей с i -й степенью защиты (табл.2.15);
 n – число степеней защиты (в зданиях, в убежищах, незащищенные);
 m – число зон разрушений;
 k – число рассматриваемых степеней тяжести поражения (общие потери, санитарные потери, погибшие).

Таблица 2.15

Доля потерь среди людей с разной степенью защиты

Зона разрушений	Доля потерь C_i , среди людей					
	незащищенных		в убежищах		в зданиях	
	общие потери	санитарные потери	общие потери	санитарные потери	общие потери	санитарные потери
Слабых	0.08	0.03	0.003	0.001	0.012	0.004
Средних	0.12	0.09	0.01	0.003	0.035	0.01
Сильных	0.8	0.25	0.025	0.008	0.3	0.1
Полных	1.0	0.30	0.07	0.025	0.5	0.15

Примечание: Общие потери складываются из санитарных потерь и погибших.

2.4.1. Последовательность расчета ожидаемых потерь в очаге взрыва

1. Определяется число людей, оказавшихся в j -й зоне разрушения.

$$N_j = S_j \cdot \rho, \quad (2.20)$$

где N – число людей в j -й зоне разрушений;

S – площадь той части жилого массива, которая оказалась в j -й зоне разрушений, км^2 (рис.2.5);

ρ – плотность населения для данного жилого массива, чел/ км^2 .

2. Определяется доля людей среди N_j , имеющих i -ю степень защиты

$$N_i = N_j \cdot q_i, \quad (2.21)$$

где N_i – число людей с i -й степенью защиты;

q_i – доля людей, имеющих i -ю степень защиты.

Величина q зависит от времени суток и степени неожиданности реализации опасности. Определяется по табл. 11 приложения.

3. Определяются потери k-й степени тяжести в j-й зоне разрушений

$$M_{об}(N)_j = N_{откр.} C_{откр.}^{об} + N_{зд} C_{зд}^{об} + N_{убеж.} C_{убеж.}^{об}$$

$$M_{сан.}(N)_j = N_{откр.} C_{откр.}^{сан.} + N_{зд} C_{зд}^{сан.} + N_{убеж.} C_{убеж.}^{сан.} \quad (2.22)$$

$$M_{погибш.}(N)_j = M_{об}(N)_j - M_{сан.}(N)_j$$

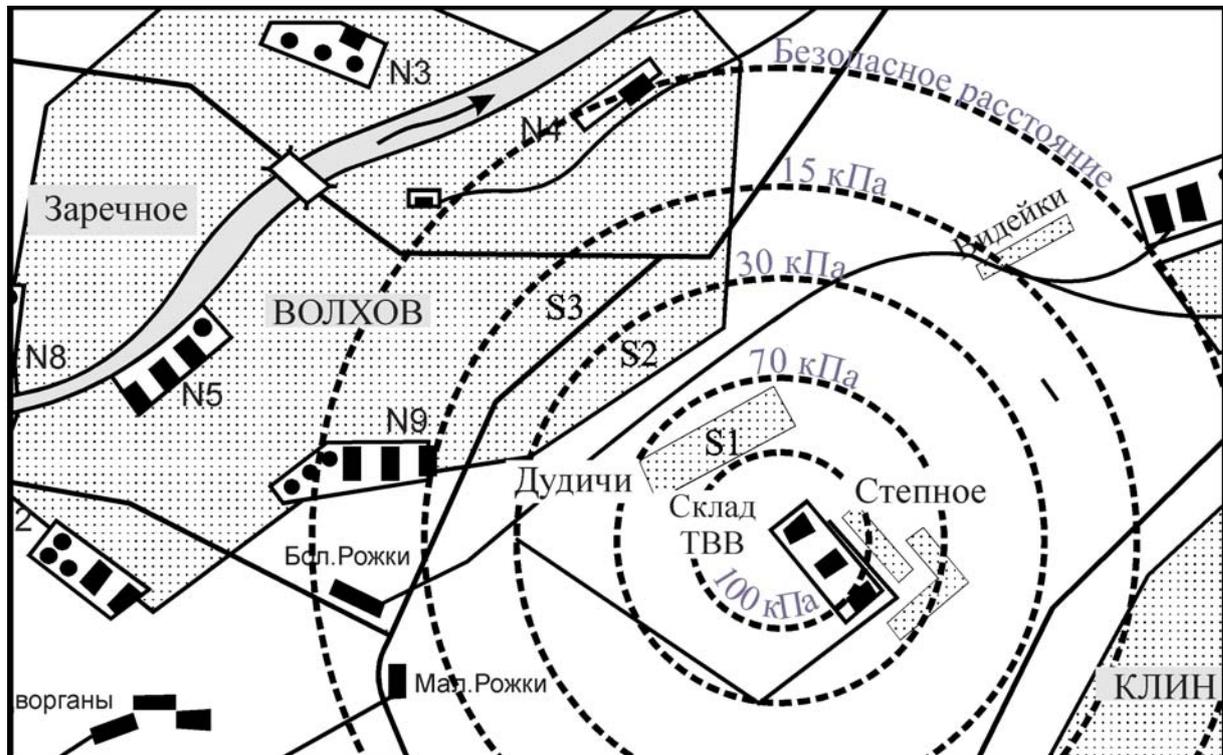


Рис. 2.5. Определение ожидаемых потерь в очаге взрыва

4. Определяются потери в очаге взрыва

$$M_{об}(N) = \sum_{j=1}^m M_{об}(N)_j$$

$$M_{сан.}(N) = \sum_{j=1}^m M_{сан.}(N)_j \quad (2.23)$$

$$M_{пог.}(N) = \sum_{j=1}^m M_{пог.}(N)_j$$

2.5. Оценка взрывоустойчивости зданий и сооружений к воздействию ударной волны

В качестве количественного показателя устойчивости объекта к воздействию ударной волны принимается значение избыточного давления, при котором здания, сооружения и оборудование сохраняются или получают слабые и средние разрушения. Это значение избыточного давления принято считать пределом взрывоустойчивости “объекта” к ударной волне.

Под взрывоустойчивостью понимается предельная величина избыточного давления ΔP_{lim} , до которой рассматриваемый элемент сохраняет ремонтпригодность или возможность его восстановления. Обычно это может быть в случае, если элемент получит среднюю степень разрушения.

Для расчета предела устойчивости данного типа здания используется следующая эмпирическая зависимость:

$$\Delta P_{lim} = K_{п} \prod_{i=1}^n K_i, \text{ кПа}, \quad (2.24)$$

где $K_{п}$ – коэффициент, учитывающий степень разрушения здания:

Степень разрушения	$K_{п}$
Полная	1
Сильная	0.87
Средняя	0.56
Слабая	0.35

K_1 – коэффициент, учитывающий назначение здания:

Назначение здания	K_1
Производственные здания и сооружения, корпуса цехов и т.п.	14
Жилые и административные здания	23

K_2 - коэффициент, учитывающий тип конструкции:

Тип конструкции	K_2
Бескаркасная	1
Каркасная	2
Монолитная	3.5

K_3 - коэффициент, учитывающий строительный материал:

Строительный материал	K_3
Дерево	1
Кирпич	1.5
Легкий бетон и железобетон с % армирования ≤ 0.3	2
Средний бетон и железобетон с % армирования ≥ 0.5	3

K_4 – коэффициент, учитывающий сейсмостойкость:

Степень устойчивости	K_4
Не сейсмостойкие	1
Сейсмостойкие	1.5

K_5 – коэффициент, учитывающий степень износа:

Степень износа для каркасных зданий	K_5
Трещины в заполнителе каркаса	0.75
Значительные нарушения в заполнителе, трещины в каркасе	0.5
Значительные трещины в каркасе	0.25

K_6 – коэффициент, учитывающий состояние здания:

Состояние здания	K_6		
	Жилые и административные	Промышленные	
		каркасные	бескаркасные
Хорошее	1	1	1
Удовлетворительное	0.75	0.5	0.67
Ухудшающееся	0.5	0.25	0.33

K_7 – коэффициент, учитывающий высоту здания:

$$K_7 = \frac{H_{зд} - 2}{3 \cdot [1 + 0,43 \cdot (H_{зд} - 5)]}, \quad (2.25)$$

где $H_{зд}$ – высота здания до карниза, м;

K_8 – коэффициент, учитывающий наличие установленного кранового оборудования:

$$K_8 = 1 + 4.65 \cdot 10^{-3} \cdot Q, \quad (2.26)$$

где Q – грузоподъемность крана, т.

По значению величины $R_{lim}^{срд}$ из табл.2.13 определяется радиус круга потери взрывоустойчивости (КПВ), в пределах которого данный тип здания получает разрушения выше средней степени. По величине площади КПВ и плотности застройки рассматриваемой территории определяется число полностью разрушенных или частично поврежденных зданий, которым требуется для восстановления капитальный ремонт.

2.6. Характеристика воздействия ударной волны на здания, сооружения и технологическое оборудование объектов

Наибольшим разрушениям от ударной волны подвергаются здания и сооружения больших размеров с легкими несущими конструкциями, возвышающимися над поверхностью земли, а также немассивные бескаркасные сооружения с несущими стенами из кирпича и блоков.

Подземные же и заглубленные в грунт сооружения, здания антисейсмической конструкции, а также массивные малоразмерные здания и сооружения с жесткими несущими конструкциями обладают значительной сопротивляемостью ударной волне.

При воздействии ударной волны здания, сооружения, оборудование и коммунально-энергетические сети (КЭС) объекта могут быть разрушены в различной степени.

Разрушения принято делить на полные, сильные, средние и слабые.

Полные разрушения – это разрушения несущих конструкций, обрушение перекрытий, уничтожение оборудования. Восстановление сооружений невозможно.

Сильные разрушения – значительные деформации несущих конструкций, разрушение большей части перекрытий, стен и оборудования. Восстановление сооружения возможно, но сводится по существу к новому строительству с использованием некоторых сохранившихся конструкций и оборудования.

Средние разрушения – разрушения наименее прочных конструкций зданий и сооружений (окна, двери, крыши), образование трещин и обрушение части внутренних перегородок. Значительных повреждений основного оборудования нет.

Восстановительные работы сводятся к среднему восстановительному ремонту.

Для определения степени разрушения различных элементов объекта существуют специальные таблицы, в которых приведены величины избыточного давления и характер производимых разрушений (табл. 2.16), [10].

Таблица 2.16.

Повреждения и разрушения различной степени тяжести

Степень разрушения здания	Состояние элементов конструкций
1	2
Слабая	Разрушены заполнения оконных и дверных проемов; отмечены трещины, отслоения и выколы штукатурки внутренних перегородок, повреждены самонесущие кирпичные стены и стеновые панели из легких бетонов
Средняя	Разрушены окна, двери, внутренние перегородки; повреждены отдельные участки мягкой кровли в виде разрывов водоизоляционного ковра; разрушены отдельные участки самонесущих кирпичных стен и стеновых панелей из легких бетонов; повреждены (трещины и остаточные прогибы) несущие кирпичные стены и приваренные к строительным конструкциям плиты покрытия

Окончание таблицы 2.16

1	2
Сильная	Разрушены самонесущие кирпичные стены, стеновые панели из легких бетонов и мягкая кровля на большой площади; повреждены (остаточные деформации, трещины, в том числе и сквозные, разрушен защитный слой бетона на опорных участках и т.п.) отдельные основные несущие конструкции (плиты покрытия и перекрытия, балки, ригели и колонны каркаса) и узлы их крепления; разрушены несущие кирпичные стены и обрушены конструкции покрытия

2.7. Характеристика воздействия ударной волны на людей

Ударная волна может нанести незащищенным людям травмы, контузии или быть причиной их гибели.

Поражения ударной волной могут быть непосредственными или косвенными.

Непосредственные поражения возникают в результате воздействия избыточного давления и скоростного напора. Ввиду небольших размеров тела человека ударная волна мгновенно охватывает человека и подвергает его сильному сжатию. Процесс сжатия продолжается в течение всего периода фазы сжатия (несколько секунд). Мгновенное повышение давления воспринимается человеком как резкий удар. В то же самое время скоростной напор перемещает тело в пространстве.

Косвенные поражения люди могут получить в результате ударов обломками разрушенных зданий и сооружений или в результате ударов летящих с большой скоростью осколков стекла, камней и других предметов. Например, при $\Delta P_{\text{ф}}=35$ кПа плотность летящих осколков достигает 3500 штук на квадратный метр. Скорость перемещения осколков – 50 м/с.

Воздействие ударной волны на незащищенных людей характеризуется: легкими, средними, тяжелыми, крайне тяжелыми травмами. Характеристика степени поражения людей приведена в табл. 2.17.

Таблица 2.17.

Степень поражения людей

$\Delta P_{\text{ф}}$, кПа	Степень поражения	Характер поражения
1	2	3
20-40	Легкая	Легкая общая контузия организма, временное повреждение слуха, ушибы и вывихи конечностей
40-60	Средняя	Серьезные контузии, повреждение органов слуха, кровотечение из носа и ушей, сильные вывихи и переломы конечностей

Окончание таблицы 2.17

1	2	3
60-100	Тяжелая	Сильная контузия всего организма, повреждение внутренних органов и мозга, тяжелые переломы конечностей; возможен смертельный исход
Свыше 100	Крайне тяжелая	Получаемые травмы очень часто приводят к смертельному исходу