© В.В. Гарнов, Б.Д. Христофоров, 2005

УДК 622.215.12

В.В. Гарнов, Б.Д. Христофоров

*ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ УДАРОМ ОСКОЛКОВ**

Семинар № 8

Вопросы передачи детонации обычно возникают, когда происходят аварийные взрывы больших масс ВВ или детонация передается на расстояния больше расчетных. При определении безопасных расстояний при аварийных взрывах в первую очередь оценивается возможность передачи детонации воздушной ударной волной. Часто удары осколков, которые могут возникнуть при взрывах в условиях хранения и перевозки ВВ, не учитываются. Известно, что все ВВ имеют разную чувствительность к возбуждению детонации, как при ударе, так и трении. Так вероятность взрыва Аммонита 6 ЖВ, при испытаниях ударом на копре стандартными методами составляет 16-32 % [1]. Увеличение масштаба взрыва значительно повышает параметры ударных нагрузок и тепловое излучение, которые могут привести к возгоранию и последующей детонации ВВ [2].

Рассмотрим экспериментальный взрыв 900 т тротила зимой с большим количеством стальных осколков, при котором определялась передача детонации пассивным зарядам ВВ. Основной заряд состоял из 123000 стальных мин начиненных литым тротилом. Общая масса металла составила 250 т, а полная масса инертного материала примерно равна массе ВВ. Заряд был выложен на ровной местности в виде цилиндра высотой 7 и диаметром 25 м со средней плотностью заряжания 0,28 т/м^3.

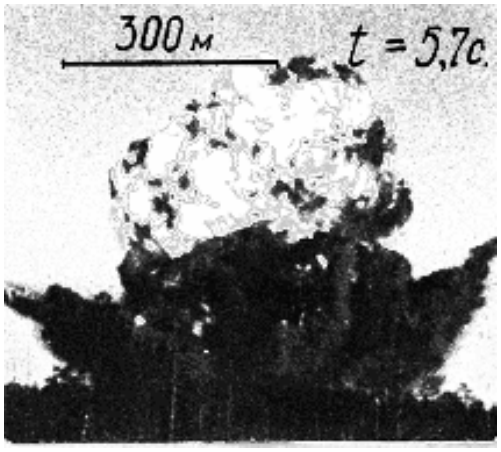
Было установлено три пассивных заряда прямоугольной формы с шириной основания 1,2 м из 25 мешков аммонита АМ-6 массой по 1 т каждый со средней плотностью 0,69 т/м^3 на расстояниях 100; 120; 140 м. Первый заряд имел длину 1,2 м и высоту 1 м, два других длину 1,8 м и высоту 0,67 м. Все они сдетонировали при взрыве активного заряда.

Фотография взрыва в момент 5,7 с приведена на рисунке, когда взрывное облако, расширяясь у поверхности земли захватило пассивные заряды. Согласно [3], в этот момент радиус взрывного облака у поверхности земли составляет около 200 м и близок к максимальному.

Безопасное расстояние по передаче детонации ударной волной R от центра активного заряда до переднего торца пассивного определяется зависимостью $R = k\ C^{1/3}D^{1/4}$, где C-масса активного заряда в кг; D-наименьший поперечный размер пассивного заряда в м; k-коэффициент, зависящий от типа ВВ обоих зарядов, условий взрыва и вероятности передачи детонации. Полагая для первого пассивного заряда C = 900 т, D = 1 м, k = 1,3 получим R = 125,5 м, что делает возможной детонацию ударной волной, однако ее вероятность мала. Соответственно для 2 и 3 зарядов R = 78,6 м из-за их сравнительно малой высоты 0,67 м. Поэтому вероятность передачи детонации ударной волной второму и третьему пассивным зарядам, практически, равна нулю, и естественно предположить, что детонация передавалась осколками.

Анализ распределения пыли по поверхности грунта показал, что она содержит большое количество металлических осколков размером 1-2 мм. Мелкие осколки, похожие на блестящую дробь, подвергались воздействию температуры, превышавшей температуру плавления 1540 ^{0}С. Критическая температура нагрева для большинства ВВ составляет 500-1000 ^{0} С. Вблизи расположения пассивных зарядов измеренная концентрация осколков достигала 100-200 м$^{-2}$. Максимальная дальность разлета осколков составила около 1,5 км. Поэтому могли происходить множественные удары горячих осколков по торцевой поверхности

*Работа поддержана РФФИ. Грант № 02-05-64134.



Фотография взрыва

пассивных зарядов, вызывать локальный разогрев в местах ударов и детонацию.

Среднюю скорость разгона осколков взрывом можно оценить, полагая, что половина энергии взрыва CQ затрачивается на разгон инертного материала массой m = C, из соотношения $V = (CQ/m)^{1/2}$ =2,4 км/с. При разлете осколки тормозятся в воздухе тем сильнее, чем больше отношение их диаметра d к толщине h (1-2 мм). При d < h торможением воздуха можно пренебречь. Поэтому наибольшие скорости удара, близкие к начальным, будут у сравнительно малых осколков. Характерные давления удара, необходимые для возбуждения детонации в заряде насыпной плотности не превышают 10 кбар (1 ГПа). Оценки характерного давления по формуле квазиакустического приближения P = ρ(C+V)V = 0,7(2+2)2 = 56 кбар (5,6 ГПа) [4] при ударе осколков по пассивным зарядам показывают на возможность детонации по этому механизму [5]. Множественность ударов повышает вероятность этого процесса.

Проведенный эксперимент и анализ случаев аварийных взрывов железнодорожных вагонов, металлических контейнеров с ВВ, а также других хранилищ боеприпасов, подтверждает необходимость при оценке безопасного расстояния по передаче детонации оценивать наряду с действием ударных волн, удар осколков и тепловое воздействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев А.Ф.* Горение, детонация и работа конденсированных систем. – М.: Недра, 1968, 250 с.
2. *Адушкин В.В., Гарнов В.В., Христофоров Б.Д.* Особенности передачи детонации при крупномасштабных взрывах. Безопасность труда в промышленности. 1995, № 2, с.33-35.
3. *Гарнов В.В., Перник Л.М.* Особенности распространения газового облака при наземных взрывах конденсированных взрывчатых веществ. Безопасность труда в промышленности. 2000, № 4, с.30-32.
4. *Беляев А.Ф., Боболев В.К., Ратнер З.И.* О механизме возникновения детонации взрывчатых смесей при ударе. Вопросы теории взрывчатых веществ. М., 1947, в.1, с.145-148.
5. Физика взрыва. Под ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1975, 704 с.

Коротко об авторах

Гарнов В.В., Христофоров Б.Д. – ИДГ РАН.

© В.Х. Пергамент, В.С. Сур
2005

УДК 622.81

В.Х. Пергамент, В.С. Сураев

КЛАССИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЗРЫВОВ

Семинар № 8

В действующих нормативах безопасность взрывов по различным поражающим факторам оценивается сравнением фактических расстояний (от места взрыва до объекта) с расчетными, безопасными. Оценки опасности (или безопасности) взрывов можно также получить из решения двух других типов задач, предполагающих определение:

- допустимой массы [Q] заряда ВВ (общей или в какой-то части систем зарядов) и сравнение ее с намеченной к взрыву;

- прогнозных значений генерируемых взрывом величин параметров поражения объекта (либо реализуемых при заданных условиях взрывания значений двухпараметрических аргументов, связывающих массу ВВ и расстояние и определяющих величину поражающих параметров), и сравнение их с допустимыми (предельными для объекта) уровнями.

В этих задачах используются двухпараметрические аргументы знергетического подобия явлений при взрывах: приведенное $R = r/Q^{1/3}$, м/кг$^{1/3}$ и квадратичное приведенное $r^* = r/Q^{1/2}$, м/кг$^{1/2}$ расстояния. Параметры, характеризующие уровень поражения охраняемого объекта, выражаются функциями этих аргументов.

Приводимые в расчетах безопасных расстояний по “Единым правилам безопасности при взрывных работа” (ЕПБ ВР-2001) коэффициенты пропорциональности (или произведения нескольких частных коэффициентов) представляют численные значения аргументов, обеспечивающие безопасный уровень параметров поражения (скоростей колебаний грунта и вылета осколков, давления и импульса воздушных волн, концентрации ядовитых газов и др.). Величины этих аргументов могут быть связаны и с параметрами буровзрывных работ.

В качестве опасных при взрывах выделяют следующие виды воздействий:

Р - Разлет осколков породы (разрушаемого материала). Поражающее действие осколков определяется удельной энергией, поглощенной от них объектом, попавшим в зону поражения. Эта энергия зависит от массы и скорости осколков, а величина скорости осколков, определяющая дальность их полета, связана с условиями заглубления (относительно имеющихся свободных поверхностей) зарядов данных масс и с взаимодействием соседних зарядов, Осколки представляют опасность и для людей, и для наземных объектов. Если для людей опасны осколки любой массы, то для зданий и оборудования опасными являются лишь осколки с массой, превосходящей некоторый предел при определенной плотности выпадения их на площадях участков поражения.

С - Сейсмическое. Сотрясательное действие взрыва, опасное для зданий, наземных и подземных сооружений, коммуникаций, систем и т. д. Основным критерием сейсмической опасности является величина скорости смещения в основании охраняемого объекта, моделируемая приведенным расстоянием $R = r/Q^{1/3}$. В некоторых случаях дополнительно учитывается частотный состав и ускорения колебаний грунта.

В - Воздушноволновое. Действие воздушных волн определяется максимальными избыточными давлениями и импульсами взрыва, представляющими опасность для слуха, физического состояния и жизни людей, целостности зданий и сооружений. Как правило, наиболее чувствительными к действию воздушных волн для людей и зданий являются соответственно барабанные перепонки и остекление. В качестве параметров безопасности используются аргументы R и r*.

Д - Детонации передача. Обусловленное параметрами взрывной волны явление передачи детонации от одного заряда другому. Опасность передачи детонации и непредусмотренного взрыва особенно существенна при размещении зарядов ВМ на некотором удалении друг от друга, например, при хранении больших масс зарядов на складах ВМ.

Таблица 1

Классификация условий безопасности взрывов

Воздействие (фактор опасности) взрыва:	**Охраняемые объекты и субъекты**		**Системность, заглубление и способ взрывания заряда**					
			е – единичный		**г - групповой**			
			о - открытый	**у – углубленный**	**о - открытый**		**у – углубленный**	
			м – мгновенный		**м - мгновенный**	**к – КЗВ**	**м – мгновенный**	**к – КЗВ**
Р – Разлет осколков породы	Л – Люди		РЛеом	РЛеум	РЛгом	РЛгок	РЛгум	РЛгук
	А – Агрегаты		РАеом*	РАеум*	РАгом*	РАгок*	РАгум*	РАгук*
С - Сейсмическое	З – Здания		СЛзеом*	СЗеум	СЗгом*	СЗгок*	СЗгум	СЗгук
В – Воздушноволновое	Л – Люди		ВЛеом	ВЛеум	ВЛгом	ВЛгок	ВЛгум	Влгук
	З – Здания, остекление		ВЗеом	ВЗеум	ВЗгом	ВЗгок	ВЗгум	Взгук
Д – Детонации передача	Хранилища ВМ	Х.О-открытые	ДХОеом	ДХОеум.	ДХОгом*.	ДХОгок*	ДХОгум*	ДХОгук*
		ХУ- углубленные	ДХУеом	ДХ.Уеум	ДХУгом*	ДХУгок*	ДХУгум*	ДХУгук*
Г – Газовофакторное	Л – Люди		ГЛеом	ГЛеум*	ГЛгом	ГЛгок	ГЛгум*	ГЛгук*

* - условия, не отраженные в “ЕПБ ВР-2001”.

Г – Газовофакторное. Опасное для людей и животных влияние выделившихся при взрыве (и перемещенных на значительное расстояние) ядовитых газов в опасных концентрациях.

Среди объектов, реагирующих на параметры поражения, характерны следующие типы: Л – Люди; А - Агрегаты (оборудование); З - Здания (сооружения); Х - Хранилища (заряды) ВМ.

Каждый из типов может быть детализирован по признакам, учитывающим изменение степени воздействия поражающего фактора (например, по условиям заглубления, важности, типу и материалу несущих конструкций), а люди в разном состоянии -по степени восприятия отдельных проявлений.

По системности, условиям заглубления и режимам взрывания соответственно выделяются заряды: единичные (е) и групповые (г); открытые (о) и углубленные (у); мгновенно - (м) и короткозамедленно (КЗВ) взрываемые (к). Буквенные аббревиатуры (табл. 1), соответствующие перечисленным признакам в классификации условий безопасности (заглавные буквы - факторы опасности и типы объектов, строчные буквы – индексы системности, заглубления и режимов взрывания зарядов), обеспечивают компактность записи всех типов задач при выборе расчетных формул для оценки условий опасности (или безопасности) взрывов. Элементы классификации условий безопасности, отмеченные знаком * (табл. 1), не отражены в действующих нормативах. В частности, отсутствуют оценки опасных по разлету осколков зон для механизмов. Учет этого случая представляется важным для исключения излишних перегонов дорогого тяжелого оборудования. Также нет и оценок размеров газоопасных зон при взрывах заглубленных зарядов, когда выделение газов в атмосферу меньше, чем при открытых (контактных) взрывах.

На расстояниях, сопоставимых с линейными размерами L взрываемых участков (по крайней мере, при $r < 3{,}5\ L$), проявляется влияние пространственного распределения заряда по длине (площади) участка и ориентации луча наблюдения относительно линейных размеров взрываемых зарядов. Учет этого фактора в ряде случаев позволяет уменьшить радиусы опасных зон (или увеличить предельные массы ВВ) по сравнению с оценками, полученными для сосредоточенных (точечных) зарядов.

При оценках условий безопасности целесообразно учитывать вероятные степени реакций (уровни повреждений) объектов и число (долю) объектов данного типа, проявляющих приращенные (по сравнению с основной) степени реакций при одном и том же уровне действующего фактора опасности (скорость колебаний грунта, давление или импульс воздушных волн и т. д. Степени реакций изменяются от нулевой (отсутствие реакции, $d = 0$) до слабой ($d = 1$), умеренной ($d = 2$)

Таблица 2

Зависимость долевого числа (W_{d+z}) объектов, испытавших приращенные (по сравнению с основной) степени реакций, от величины приращения (z)

Приращение степени реакции, z	+1,5	+1	+0,5	0	- 0,5	-1
Доля объектов, испытывающих по (1) приращенную реакцию, W_{d+z}%	1,5	7	22	50	83	97
Аналог доли оценок в MSK, $W_{d+z(MSK)}$,%	До 2 (единичные)	≈10 (отдельные)	≈20 (некоторые)	≈50 (многие)	≈80 (большинство)	98 (все)

и сильной (d > 2). Приращения реакций могут быть положительными и отрицательными.

В оценках может быть использован опыт модернизированной шкалы сейсмических колебаний (MMSK-84), классы воспринимающих воздействия объектов (люди, предметы, здания, сооружения, коммуникации и т. д.) которой разделены на подклассы:

- -люди - чуткие, нормальные, активные, управляющие механизмами;
- -предметы - неустойчивые, устойчивые, тяжелые, малоподвижные;
- -здания – из местных материалов некачественных, удовлетворительного и хорошего качества (A_1, A_2 и Б), промышленного и гражданского назначения без усилений (В), с семи - (C_7), восьми - (C_8) и девяти- балльными – (C_9) усилениями конструкций.

Для каждого из подклассов объектов выделены степени воздействий: от d = 0 (отсутствие реакции) до d = 3 и 4 (сильные реакции) и предусмотрены 6 количественных оценок долевых частей (W_d) в выборках однотипных объектов, проявивших те или иные степени (d) :1- единичные, до 2 %; 2 - отдельные, около 10 %; 3 – некоторые - 20 %; 4 - многие, около 50 %; 5 - большинство--80 %; 6 - все- более 98 %. Выполненной аппроксимацией доли (W_{d+z}) объектов, испытавших приращенные по сравнению с основной (т. е. испытанной многими, примерно 50 %, объектами) степени реакции, получена аналитическая зависимость этой доли от величины (z) приращения :

$$W_{d+z}=W_d \exp[- 0,666z(z + 2] = W_d(e^{2/3})^{-z(z+2)}, \quad (1)$$

где Wd и Wd+z - доли объектов, испытавших основную и приращенную степени реакций; d и z – основная степень реакции, т.е. реакция, испытанная многими (около 50 %) объектами, и приращение (к основной) степени реакции, испытанной при этом частью объектов.

Из приведенных ф. (1), табл. 2 оценок связи величины (z) приращения с долей (Wd+z) объектов, испытавших приращенную (d+z) реакцию (степень воздействия), видно, что для заданная степени воздействия на большем (чем половина) числе объектов обеспечивается если, в расчетах использованы параметры, соответствующие степени реакции на 1-1,5 единицы меньше основной. При расчетах поражающего действия по основной (средней, вероятной для 50 % объектов данного типа) величине (z = 0) сохраняется риск, что до10 % объектов получат все же поражения на ступень большую, чем средняя расчетная.

При планировании параметров взрывных работ и определении возможных последствий взрывов следует учитывать, что для безопасности людей требуется обеспечение случая «все» (z = -1…-1,5), а для зданий и механизмов оправданными могут оказаться экономически приемлемые варианты, когда в расчетах безопасности для части (единичных, отдельных или некоторых) объектов имеется отличающийся от нулевого риск небольших (z= 0,5…1) приращений степеней реакций (по сравнению с основной) на действия поражающих факторов.

Владельцы объектов, подверженных такому риску, должны быть своевременно предупреждены о возможных последствиях взрывов, а в системе страхования ответственности следует предусматривать компенсацию ущерба.

Коротко об авторах

Пергамент В.Х., Сураев В.С. – Магнитогорский государственный технический университет.