

УДК 622.235.3

ЗАЩИТА СООРУЖЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ

Ю. А. Юрманов

При взрыве шпуровых (скважинных) зарядов в подземных выработках в начальный момент взрыва (до начала отрыва породы) выбрасываются продукты взрыва и забойка из шпура (скважины). Основной причиной образования ударных воздушных волн являются расширяющиеся газообразные продукты взрыва. В начальной стадии расширения продуктов взрыва фронт волны имеет форму полусферы, несколько искаженную к оси шпура за счет осевого разлета продуктов взрыва и забойки. В последующие этапы, по мере взаимодействия фронта волны со стенками выработки, формируется плоская волна. Интенсивность ее определяется энергией, которую расширяющиеся продукты взрыва сообщают воздуху.

Предельный закон затухания сильных плоских волн ($\Delta p_1 > 11 \text{ кг/см}^2$) [Рябинин, Радионов, 1956]

$$\Delta p_1 = 0,29 \frac{\varepsilon}{r}, \quad (1)$$

слабых плоских волн ($\Delta p_1 < 11 \text{ кг/см}^2$)

$$\Delta p_1 = 0,76 \sqrt{\frac{\varepsilon}{r}}, \quad (2)$$

где Δp_1 — избыточное давление на фронте волны, кг/см^2 ;
 ε — плотность потока энергии плоской волны, кал/см^2 ;
 r — расстояние от точки взрыва до точки измерения, м.
Обобщенная формула по (1) и (2)

$$\Delta p_1 = 0,29 \frac{\varepsilon}{r} + 0,76 \sqrt{\frac{\varepsilon}{r}}, \quad (3)$$

справедлива для плоской волны, распространяющейся в безграничной воздушной среде. На затухание ударной волны большое влияние оказывает трение воздуха о стенки горных выработок. Затухание, обусловленное трением, выражается зависимостью $e^{-k \frac{r}{d}}$ (k — коэффициент трения;

d — диаметр выработки, м).

Диаметр выработки определяется из

$$S = \frac{\pi d^2}{4},$$

где S — сечение выработки, м^2 .

С учетом затухания формула для определения избыточного давления на фронте волны в горной выработке принимает вид:

$$\Delta p_f = \left(0,29 \frac{\varepsilon}{r} + 0,76 \sqrt{\frac{\varepsilon}{r}} \right) e^{-k \frac{r}{d}} \quad (4)$$

Плотность потока энергии плоской волны при взрыве открытого заряда в выработке

$$\varepsilon = \frac{qQ}{2S}, \quad (5)$$

при взрыве в тупике

$$\varepsilon = \frac{qQ}{S}, \quad (6)$$

где q — вес заряда, кг;

Q — теплота взрыва, ккал/кг;

2 — учет распространения волны в обе стороны от центра заряда.

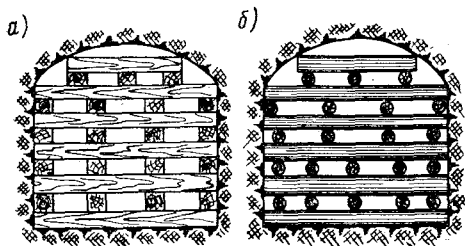


Рис. 1. Буферные перегородки сплошные:
а — из шпал; б — из круглого леса.

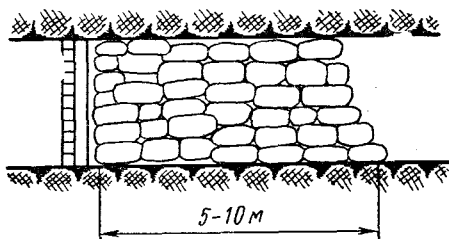


Рис. 2. Баррикадная перегородка.

На расстоянии r от центра взрыва шпуровых зарядов q избыточное давление Δp_f ориентировочно равно

$$\Delta p_f = \left(0,29 \frac{\varepsilon n}{r} + 0,76 \sqrt{\frac{\varepsilon n}{r}} \right) e^{-k \frac{r}{d}}, \quad (7)$$

где n — коэффициент перехода энергии в ударную воздушную волну (по данным производственных экспериментов, проведенных нами на руднике «Заполярный» Норильского комбината, $n = 0,012$);

k — коэффициент затухания, равный 0,045—0,063.

Для уменьшения разрушительного действия ударных воздушных волн, распространяющихся в горных выработках, применяются устройства различных конструкций.

1. Преграды буферные и баррикадные, волнорезы, пористые перегородки [Комаров, Килькеев, 1959]. При взаимодействии с преградой ударная волна отражается и обтекает преграду. В результате ударная волна теряет некоторое количество движения. В свою очередь, уменьшение количества движения обуславливает падение интенсивности волны, а следовательно, и уменьшение разрушительного действия.

2. Разрушающиеся преграды [Белопухов, Симонов, 1955] — сплошные перегородки из различных материалов, которые возводятся непосредственно у места взрыва. Ударная волна и продукты взрыва, воздействуя на преграду, разрушают ее. За время разрушения давление перед преградой падает и разрушительная способность ударной волны уменьшается.

Буферные перегородки возводят из шпал, брусьев или круглого леса (рис. 1). Шпалы (брусья, кругляк) укладывают так, чтобы образовалась система равномерно распределенных «окон» размером $170 \times 200 - 250 \times 250$ мм. Элементы конструкции крепят скобами.

Баррикадные перемычки возводят из бетонитов, бутового камня, мешков с песком и пр. (рис. 2). Между кровлей и верхом перемычки оставляют свободное пространство для обеспечения возможности обтекания. Серьезным недостатком этих перемычек являются значительные затраты труда и материалов на их возведение, сложность уборки после взрыва. Поэтому их в основном применяют при необходимости защиты герметизирующих перемычек от действия ударной волны при подземных пожарах.

В лабораторных условиях исследована гасящая способность преград различных конструкций, а также сопряжений выработок под различными углами. Моделью канала служила стальная труба длиной 40 см, диаметром 12,5 см. В качестве преграды использовали конструкции из прессованной фанеры (тип конструкции — баррикадные перемычки), решетки (буферные перемычки), полоски резины (подвижные перемычки).

Методика эксперимента заключалась в сравнении давлений на одном и том же расстоянии в канале без преград и с преградой (рис. 3).

Степень затухания волны определяли в виде

$$m = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}, \quad (8)$$

где Δp_1 — давление в падающей волне, кг/см²;

Δp_2 — давление в волне, прошедшей преграду, кг/см².

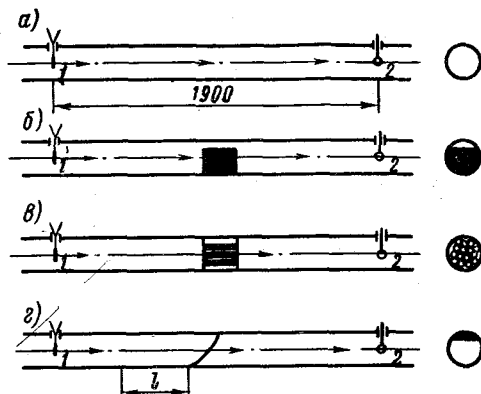


Рис. 3. Схема расположения заряда 1 и датчика 2 в канале при отсутствии а и при наличии преграды; б — баррикадной перемычки; в — буферной перемычки; г — подвижной преграды. Стрелки указывают направление распространения волны.

Описание аппаратуры для замера давлений в ударной волне дано А. Н. Ханукаевым, В. А. Боровиковым [1962].

Как видно из табл. 1, баррикадные перемычки гасят избыточное давление на 7—37%, хотя площадь преград составляла в опытах 50—90% от площади поперечного сечения канала. Буферные перемычки гасят избыточное давление в 2,3—3 раза. Большая степень гашения в данном случае объясняется сложным взаимодействием фронта волны с преградой (ее «окнами»).

Таблица 1

Результаты гашения избыточного давления различными преградами

Площадь преграды, см ²	Площадь сечения канала, см ²	Давление в свободном канале, кг/см ²	Давление в канале с преградой, кг/см ²	Степень гашения волны	Преграда
—	120,76	1,17±0,01	—	—	Свободный канал
60,38	120,76	1,27±0,01	1,19±0,01	1,07	
108,0	120,76	1,27±0,01	0,93±0,01	1,37	
—	120,76	1,27±0,01	0,54±0,1	2,35	Буферная перемычка
—	120,76	1,27±0,01	0,412±0,001	3,09	
—	120,76	1,27±0,01	0,61±0,02	2,08	Подвижная преграда
—	120,76	1,27±0,01	0,47±0,01	2,72	
—	120,76	1,27±0,01	0,37±0,01	3,44	
—	120,76	1,27±0,01	0,38±0,01	3,35	

К аналогичному заключению пришли Р. Кавамура, Х. Кавада [1962]. Исследовав степень затухания скорости фронта волны в канале при наличии преград в виде плоских пластин, расположенных нормально к оси потока, они установили, что для различных интенсивностей ударной волны наличие в канале преграды (отношение площади преграды к площади поперечного сечения канала 40—90%) обуславливает затухание скорости на 2,7—17,6%. Из-за малой гасящей способности на практике баррикадные перемычки обычно возводят по 2—3 последовательно.

Волнорезы представляют собой группу стоек, расставленных в 30—50 см друг от друга в шахматном порядке вдоль выработки с наклоном в сторону взрыва (рис. 4). Протяженность волнорезов 10—15 м. Основным недостатком преграды являются большие потери стоек при воздействии на них волн значительной интенсивности.

Пористые преграды хорошо зарекомендовали себя в США. Их используют для гашения ударных волн, затекающих в оборонительные сооружения. Примером такой конструкции может быть жесткая рама, на которую натягивают металлические сетки. Пространство между сетками заполняется металлической стружкой. Волна гасится при проникновении



Рис. 4. Волнорез.

в преграду. Пористые преграды можно использовать для защиты выработок, прилегающих к подземным складам ВВ, подземным электроподстанциям и т. д.

В подземных условиях горные выработки сопрягаются под различными углами α . Наиболее распространены сопряжения под углами 45, 90, 135°. О степени гашения избыточного давления в канале при наличии сопряжения можно судить по результатам лабораторных исследований.

По данным табл. 2 определены значения коэффициентов затухания m , равные 1,82; 1,60; 1,35 соответственно при α , равных 45, 90 и 135°.

Таблица 2

Результаты гашения избыточного давления при наличии сопряжений

Вес заряда, г	Сечение канала, см ²	Давление в канале без сопряжения, кг/см ²	Давление на фронте волны после сопряжения при различных α , кг/см ²		
			45°	90°	135°
1	120,76	1,76±0,01	0,99±0,01	1,06±0,01	1,30±0,01
2	120,76	2,90±0,01	1,64±0,01	1,72±0,01	2,15±0,01
3	120,76	4,80±0,01	2,65±0,01	2,82±0,01	3,40±0,01

Знание коэффициентов затухания позволяет определить давление на фронте волны в канале при наличии сопряжений по формуле:

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta p_1}{m}. \quad (9)$$

Разрушающиеся преграды возводят в непосредственной близости от центра взрыва. Конструктивно они представляют собой глухие перемычки (сплошные по всему поперечному сечению выработки) из дерева, металла, камня и пр. Разрушительное действие такой преградой может быть осла-

блено в 50—100 раз [Белопухов, Симонов, 1955]. Степень гашения избыточного давления определяется массой преграды на единицу площади.

Разрушающиеся преграды дают возможность гасить волну в процессе ее образования. В подземных выработках такие преграды можно сооружать в момент массового взрыва с помощью направленных взрывов при короткозамедленном взрывании.

Среди прочих средств гашения энергии ударных воздушных волн необходимо отметить водяные завесы, искусственно создаваемые перед началом взрывания шпуровых или скважинных зарядов; завесы из пеньковых или стальных канатов; подвижные металлические щиты и т. п. Принцип работы таких устройств основан на соударении фронта ударной волны и преграды.

В лабораторных условиях испытывались подвижные преграды из полос резины различной длины. Полосы подвешивали в канале, причем свободные концы укладывали по направлению к центру взрыва. Результаты опытов, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что подвижные преграды обладают большой гасящей способностью (ослабление волны в 2—3,4 раза).

Выводы

1. Ориентировочную величину избыточного давления целесообразно определять по зависимости [7].

2. Когда на пути распространения ударной воздушной волны встречаются сопряжения под углами 45, 90 и 135°, при определении величины давления следует учитывать формулу (9).

3. Если расчетное давление превышает разрушающую нагрузку, то необходимо использовать средства гашения энергии волны. По данным Ю. С. Яковлева [1961], разрушающие избыточные давления равны:

3,0 кг/см² для железобетонных стен толщиной 25 см;
0,35—0,45 кг/см² для бетонных стен толщиной 25—36 см;
0,45—0,56 кг/см² для кирпичных стен толщиной 24—36 см;
0,10—0,18 кг/см² для деревянной балки толщиной 14—16 см.

4. Наиболее выгодными и удобными средствами гашения ударной волны являются буферные перемычки и завесы из негорючей транспортной ленты или канатов. Перемычки необходимо возводить на расстоянии, превышающем 5—8 диаметров выработки.

ЛИТЕРАТУРА

Белопухов Л. К., Симонов Н. Н. Исследование действия взрыва за разрушающимися преградами. В сб. Физика взрыва, № 4. Изд-во АН СССР, 1955.

Кавамура Р., Кавада Х. Изучение затухания ударных волн, обусловленного наличием препятствий. В сб. Ударные трубы, 1962.

Комаров В. Б., Килькеев Ш. Х. Рудничная вентиляция. Металлургиздат, 1959.

Рябинин Ю. Н., Радионов В. Н. О затухании ударных волн, распространяющихся в каналах. В сб. Физика взрыва, № 5. Изд-во АН СССР, 1956.

Ханукаев А. Н., Боровиков В. А. О взаимосвязи между параметрами ударной волны в зарядной камере и волны напряжений в породе. В сб. Взрывное дело, № 50/7. Госгортехиздат, 1962.

Яковлев Ю. С. Гидродинамика взрыва. Судпромгиз, 1961.