Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В.Плеханова, 1984, т. 99

УДК 622.235.522

ПАРАМЕТР ВОЗДЕЙСТВИЯ УДЛИНЕННЫХ КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ НА ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

В.Н.КОВАЛЕВСКИЙ, М.А.НЕФЕДОВ,
А.Н.МУРАХИН, В.Н.ПЫЛИНИН

Применение зарядов ВВ направленного действия для контурного взрывания и предварительного щелеобразования в массиве горных пород в последние годы привлекает внимание многих исследователей. Известен ряд работ, посвященных развитию этого направления, причем наибольшее внимание уделяется удлиненным зарядам с осевой кумуляцией [1, 2, 5, 6].

В большинстве исследований приводятся конечные результаты воздействия кумулятивных зарядов на горные породы, оценивается влияние свойств горных пород на эффективность действия кумулятивной струи, сравниваются результаты разрушения кумулятивными и осесимметричными зарядами. Однако для теоретической проработки вопросов взаимодействия кумулятивных струй с горными породами необходимо представлять динамику процесса: особенность формирования поля напряжений в породе, распределение кинематических и силовых параметров в зоне действия кумулятивного заряда.

Опыты проводились в блоках гранита, мрамора и органического стекла размерами 80 х 600 х 600 мм. В качестве измерительных преобразователей (ИП) применялись высокочастотные пьезоэлектрические акселерометры клеевой конструкции с чувствительным элементом из природного кварца.

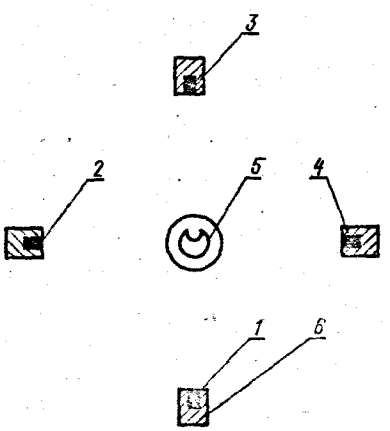


Рис.1. Расположение удлиненного кумулятивного заряда и пьезоакселерометров в модельных блоках:
1-4 – пьезоакселерометры; 5 – удлиненный кумулятивный заряд; 6 – эпоксидный компаунд

Схема расположения кумулятивного заряда и ИП в блоках приведена на рис.1. В сквозном шпуре, эксцентрично, на центрирующих тонких картонных дисках устанавливался удлиненный заряд диаметром 6,5 мм в медной облицовке с полуцилиндрической кумулятивной выемкой. Диаметр шпура в блоке выбирался с учетом фокусного расстояния заряда и соответствовал 20 мм, т.е. между зарядом и поверхностью шпура имелся достаточно большой воздушный зазор. Акселерометры устанавливались на расстоянии 100 мм от заряда в шпурах в середине сечения

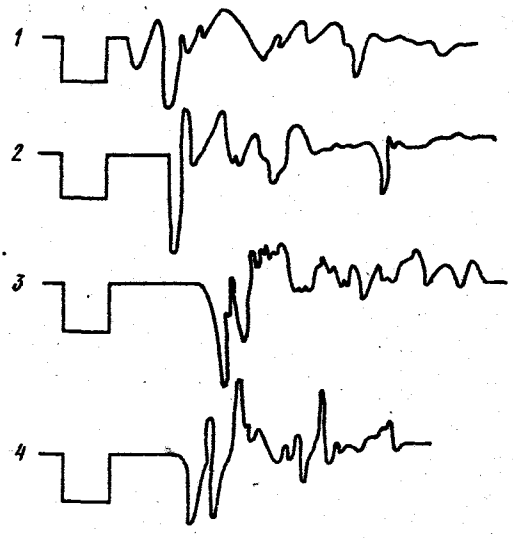


Рис.2. Осциллограммы ускорений в мраморе при взрыве удлиненного кумулятивного заряда
1-4 – акселерометры

блоков и заливались эпоксидным компаундом. Расположение ИП выбиралось с расчетом определения ускорений и скоростей смещения по кумулятивной струе, с тыльной стороны заряда и в направлениях, перпендикулярных оси кумулятивной выемки. Регистрация процесса и расчет измеряемых величин проводились по методике [3]. Типичные осциллограммы ускорений представлены на рис.2.

Экспериментальные данные можно использовать для расчета напряжений в породе. Для этого воспользуемся уравнением движения среды:

$$m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=P(t)-\sigma(t), \qquad (1)$$

где m – масса, приходящаяся на единицу поверхности блока; $\partial^2u/\partial t^2$ – ускорение движения среды; $P(t)$ – давление упругой волны; $\sigma(t)$ – напряжение в среде.

Под действием волны напряжений, пришедшей к плоскости расположения акселерометра, осуществляется движение тыльной части массива. Граничные и начальные условия при этом имеют вид:

$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x=0}=-\frac{1}{E}\left[P(t)-m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\right];$$
$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x=l}=0; \quad \left.\frac{\partial u}{\partial t}\right|_{t=0}=0, \qquad (2)$$

где E – модуль упругости материала блока; l – расстояние от акселерометра до свободной поверхности.

Решение уравнения (I) с учетом граничных и начальных условий (2) имеет вид [4]:

$$\sigma(x,t)=-\sum_{n=0}^{\infty}\left[P\left(t-\frac{2nl}{a}-\frac{x}{a}\right)-m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\left(t-\frac{2nl}{a}-\frac{x}{a}\right)\right]+$$
$$+\sum_{n=1}^{\infty}\left[P\left(t-\frac{2nl}{a}+\frac{x}{a}\right)-m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\left(t-\frac{2nl}{a}+\frac{x}{a}\right)\right], \qquad (3)$$

где n – число отражений волн от свободной поверхности; a – скорость распространения волны в блоке модели.

Величина напряжений в среде на фронте волны определяется выражением

$$\sigma(x,t) = -\rho a \frac{\partial u}{\partial t}, \qquad (4)$$

где ρ – плотность материала модели.

Дифференцируя и приравнивая выражения (3) и (4), можно получить зависимость, связывающую ускорение движения среды с давлением волны напряжений, действующих на эту среду. Для сечения, в котором располагались акселерометры, эта зависимость будет иметь вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{1}{\rho a}\frac{\partial}{\partial t}\left[p(t) - 2\sum_{n=1}^{\infty} p\left(t - \frac{2nl}{a}\right) + 2m\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\left(t - \frac{2nl}{a}\right) - m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\right]. \qquad (5)$$

Учитывая, что с ускорением, регистрируемым акселерометром, движется только слой вещества высотой, равной ширине фронта волны напряжений с малой величиной массы на единицу поверхности, выражение (5) можно упростить. Во временном диапазоне от начала воздействия до момента прихода отраженной волны от свободной поверхности $0 \le t \le \frac{2l}{a}$ значения напряжений определяются из выражения вида:

$$\sigma(t) = -\rho a \int_0^t \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dt. \qquad (6)$$

В диапазоне времени $\frac{2l}{a} \le t \le \frac{4l}{a}$:

$$\sigma(t) = -\rho a \int_0^t \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - 2\sigma\left(t - \frac{2l}{a}\right). \qquad (7)$$

Пользуясь зависимостями (6), (7), можно определять значения напряжений в породе для момента времени, интегрируя величины экспериментально полученных ускорений. В таблице приведены значения напряжений, действующих в зоне расположения ИП при взрыве удлиненных кумулятивных зарядов, рассчитанные по осциллограммам ускорений при расстоянии от заряда до акселерометра, равном 100 м.

Значения ускорений, скоростей смещения частиц в среде и напряжений при взрыве удлиненного кумулятивного заряда

Материал блока	Расположение акселерометра по отношению к заряду	Пиковые значения		
		$a \cdot 10^6$, м/с^2	v, м/с	$\sigma \cdot 10^6$, Па
Гранит	По оси кумулятивной выемки	3,14	8,7	112,2
	В направлении тыльной стороны кумулятивного заряда	1,88	5,4	69,6
	Перпендикулярно оси кумулятивной выемки	1,51	4,3	55,7

Окончание таблицы

Материал блока	Расположение акселерометра по отношению к заряду	Пиковые значения		
		$a \cdot 10^6$, м/с^2	v, м/с	$\sigma \cdot 10^6$, Па
Мрамор	По оси кумулятивной выемки	4,89	8,7	112,7
	В направлении тыльной стороны кумулятивного заряда	3,09	5,5	70,1
	Перпендикулярно оси кумулятивной выемки	1,69	4,4	55,9
Органическое стекло	По оси кумулятивной выемки	6,52	7,6	38,4
	В направлении тыльной стороны кумулятивного заряда	4.3	5,12	25,9
	Перпендикулярно оси кумулятивной выемки	3,34	3,85	19,6

Анализ результатов экспериментальных и расчетных данных показывает, что заряды направленного действия оказывают наибольшее воздействие на породу в направлении кумулятивной струи. Величины ускорений, скоростей смещения и напряжений в направлении оси выемки превосходят те же параметры в направлении боковой поверхности и тыльной стороны заряда в I,95; I,44 раза соответственно. Это связано с тем, что кумулятивная струя обладает максимальным значением скорости движения и максимальной удельной кинетической энергией, а скорость движения боковой поверхности кумулятивного заряда непостоянна по радиальным направлениям [I].

Полученные результаты могут быть использованы в теоретических разработках вопросов воздействия кумулятивных зарядов на породу, в технических расчетах при составлении проектов на специальные виды взрывных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. Физика взрыва. М., 1975.

2. Демидюк Г.П., Ведутин В.Ф. Эффективность взрыва при проведении выработок. М., Недра, 1973.

3. Карпунов Е.Г., Мисник Ю.М., Нефедов М.А. Методика измерений параметров сейсмовзрывных волн в горных породах пьезоакселерометрами. - ФТПРПИ, 1977, № 5.

4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М., ГИТЛ, 1951.

5. Austin C.F. - Mining Congress Jl. 1964.

6. George B., Clark A.O. - Proc. 12th Symp. on Rock Mechanics, New fork, 1971.