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

УДК 622.235

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

А.Н.ХАНУКАЕВ

Энергия ударной волны УВ в скальных породах значительно больше энергии ударной волны в воде. В ряде скальных пород она составляет 80 % и более от потенциальной энергии заряда [3]. Доля участия энергии ударной волны в разрушении скальных пород намного больше доли участия продуктов взрыва, оставшихся в зарядной камере и не перешедших в энергию ударной волны. Эта доля тем больше, чем больше мощность ВВ и акустическая жесткость горных пород. По величине энергии ударной волны можно дать оценку взрывной эффективности ВВ и принятой конструкции заряда.

К полезным формам работы заряда при дроблении скальных пород относится работа, затрачиваемая на дробление породы, и работа, затрачиваемая на перемещение взорванной массы. Работа, затраченная на образование полости вокруг заряда, равна полной энергии ударной волны [3].

Затраты энергии на дробление легко определяются по величине энергии, израсходованной на единицу вновь образованной поверхности, и по суммарной величине вновь образованной поверхности, а на перемещение взорванной массы – по скорости ее полета (например, по данным ускоренной киносъемки).

Энергия ударной волны обычно определяется по осциллограмме "давление – время" или осциллограмме "скорость смещения – время". Регистрация полной эпюры "давление – время" в скальных породах представляет большие трудности из-за преждевременного разрушения датчика. Эпюры "скорость смещения – время" обычно получают в лабораторных условиях для сравнительно небольших зарядов с помощью импульсной рентгеносъемки или в магнитном поле.

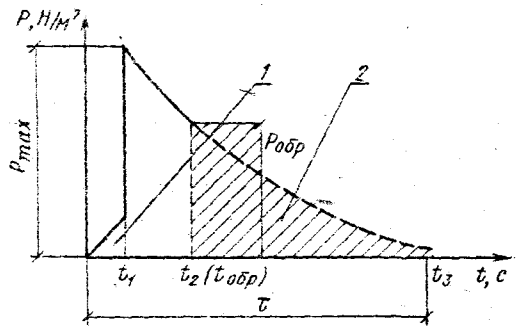



Рис.1. Начальная – головная часть УВ, зарегистрированная манганиновым датчиком
1 – упругий предвестник; 2 – не зарегистрированная – хвостовая часть УВ

С помощью манганиновых датчиков давления представляется возможным получить запись эпюры "давление – время" для начального участка или головной части удар-

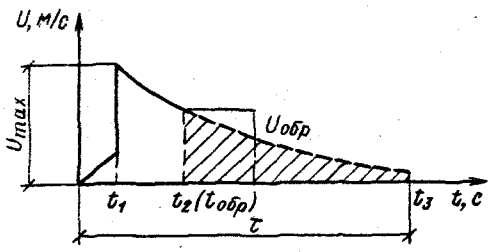



Рис.2. Эпюра УВ „скорость смещения - время"

ной волны и с помощью таких же датчиков, но расположенных на различных расстояниях от заряда, скорость распространения возмущений, а также время перехода ударной - сверхзвуковой волны в звуковую (продольную) волну [I].

Располагая данными о радиусе образовавшейся полости, равной величине смещения стенок $W$ за время действия скорости смещений $U$,

$$W = \int_0^t U(t)dt, \qquad (I)$$

можно определить полную энергию ударной волны.

По данным о времени перехода ударной волны в звуковую можно определить не только длительность действия ударной волны, но и восстановить со степенью приближения, отвечающей решению многих практических задач, всю форму эпюры ударной волны „скорость смещения - время" и эпюру „давление - время".

Расчет выполняется в следующей последовательности.

I. Производится переход от эпюры „давление - время" (рис.I) к эпюре „скорость смещения - время" (рис.2):

$$U_{max} = \frac{P_{max}}{\gamma N}, \qquad (2)$$

$$U_{обр} = \frac{P_{обр}}{\gamma N}, \qquad (3)$$

где $P_{max}$ и $P_{обр}$ - максимальное давление во фронте УВ и давление в момент разрушения манганинового датчика, Н/м$^2$; $\gamma$ - масса единицы объема породы, кг/м$^3$; $N$ - скорость ударной волны на начальном участке, м/с.

2. Смещение стенки зарядной камеры $W_{гол}$ и энергия $E_{гол}$, соответствующие работе головной части УВ, определяются методами графического интегрирования:

$$W_{гол} = \int_0^{t_{обр}} U(t)dt, \qquad (4)$$

$$E_{гол} = S\gamma N \int_0^{t_{обр}} U^2(t)dt, \qquad (5)$$

где $t_{обр}$ - момент обрыва датчика, с.

Боковая поверхность единицы длины цилиндрической полости, сместившейся на величину $W_{гол}$:

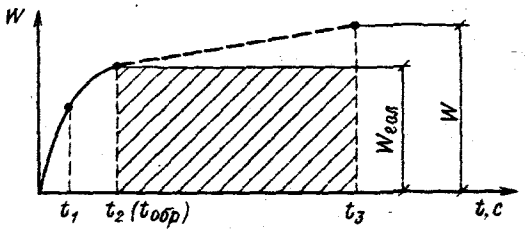



Рис.3. График „смещение - время" УВ

$$S = 2\pi(W_{гол} + R_0)\,1, \qquad (6)$$

где $R_0$ - радиус заряда, м;
1 - единица длины заряда, м.

Затраты энергии на единицу смещения стенки зарядной камеры

$$q_{гол} = \frac{E_{гол}}{W_{гол}}, \qquad (7)$$

3. Располагая промежуточными и конечными значениями смещений стенки зарядной камеры, строится график «смещение - время" (рис.3).

Полная энергия УВ равна энергии, затраченной на смещение стенок зарядной камеры. Поэтому

$$E_{полн} = q_{гол} W. \qquad (8)$$

Правомочность распространения $q_{гол}$ на весь объем образовавшейся полости вытекает из постоянства энергозатрат на единицу объема при разрушении пород за пределами прочности [2].

4. Длительность фазы сжатия ударной волны, равная времени образования полости, может быть найдена по годографу скорости распространения возмущений (рис.4). Момент соответствия скорости распространения возмущений скорости распространения продольной волны $t_3$ и является моментом окончания процесса формирования УВ или моментом окончания образования полости [3].

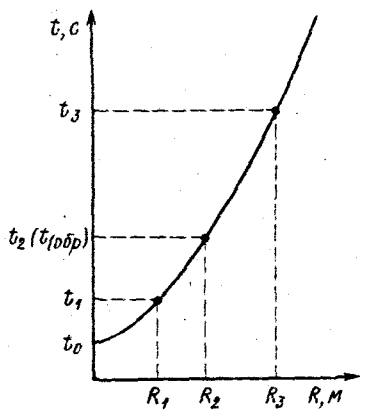



Рис.4. Годограф скорости распространения возмущений

Приближенные промежуточные значения скоростей смещений на участке эпюры $t_{обр} - t$ „скорость смещения - время" могут быть найдены, исходя из равенства величины смещения, вызванного действием хвостовой части УВ, величине площади эпюры на этом же участке, отнесенной к цене деления единицы площади эпюры,

$$W_{хв} = W - W_{гол}, \qquad (9)$$

$$W_{хв} = \int_{t_{обр}}^{t_3} U(t)dt = \frac{S'}{a}, \text{ м}, \qquad (10)$$

где $S'$ - искомая площадь хвостовой части эпюры «скорость смеще-

ния - время" на участке $t_{обр} - t$, м$^2$; $a$ - цена деления единицы площади эпюры, определяемая графически, $^1/_м(\frac{м/с}{м} \cdot \frac{с}{м})$;

$$S' = \frac{W_{хв}}{a}. \qquad (11)$$

Приближенное построение формы хвостовой части эпюры при известной величине $S'$ не вносит существенных искажений в форму ударной волны.

Задачей дальнейших исследований является разработка датчиков давлений, действующих в течение более длительного отрезка времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение низкоомных манганиновых датчиков для точных измерений напряжений в сильных ударных волнах / Х.Ванитин, И.Чэн, А.Эриксон и др. - Приборы для научных исследований, 1980, № 1.

2. Тарасов Б.Г. Энергоемкость процессов хрупкого разрушения горных пород. Л., изд. ВНИМИ, 1983.

3. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке пород взрывом. М., Недра, 1974.