

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Спивак, В. М. Цветков. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1973, 5.
2. Э. А. Кошелев. ПИМФ, 1972, 5.
3. А. С. Компанеев. Докл. АН СССР, 1956, 109, 1.

УДК 532.593

## ВОЛНЫ СЖАТИЯ В ТВЕРДОЙ СРЕДЕ ПРИ ВЗРЫВЕ МАЛОЗАГЛУБЛЕННОГО ЗАРЯДА

А. А. Спивак  
(Москва)

При изучении взрыва заряда ВВ в воздушной полости [1] было определено влияние величины начального воздействия на процесс распространения волны сжатия в твердой среде. Представляет интерес и другая задача: определить влияние движения среды в волне сжатия на параметры волнового процесса.

Чтобы измерить течение в волне, заряд ВВ взрывался на различном относительном удалении от свободной поверхности  $\eta = h/R_0$ , где  $h$  — расстояние от центра заряда до свободной поверхности,  $R_0$  — радиус заряда. Таким образом, при одинаковой амплитуде начального воздействия продуктов детонации удалось существенно изменить его длительность. Схема опыта представлена на рис. 1. Волна сжатия, распространяющаяся в глубь материала (вдоль оси  $z$ ), регистрировалась как и в работах [1, 2] электромагнитным методом измерения массовых скоростей. Необходимое для измерений магнитное поле создавалось катушкой, обмотка которой питалась постоянным напряжением 110 В, а внутренний радиус позволял размещать блоки размером  $25 \times 25 \times 30$  см. Угол развода датчиков не превышал  $90^\circ$ .

В качестве источников взрыва использовались сферические заряды из тэна весом 0,4; 0,78; 2,6 г радиусом 0,4; 0,5 и 0,75 см соответственно кроме случая накладного полусферического заряда ( $\eta = -0,5$ ), когда использовались половинки тех же зарядов.

Измерения проводились в двух средах: тиосульфате натрия и

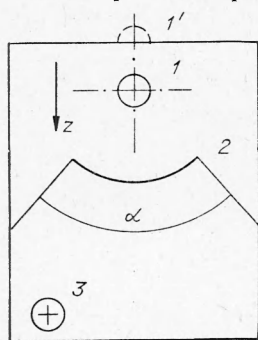


Рис. 1. Схема опыта.  
1 — заряд ВВ (1' — расположение заряда при  $\eta = -0,5$ );  
2 — проволочный датчик; 3 — направление магнитного поля.

(табл. 1) органическом стекле (полиметилметакрилат). Методика изготовления блоков из тиосульфата натрия описана в работах [1, 2]. Блоки из органического стекла изготавливались из двух половин размером  $25 \times 30 \times 12,5$  см. На предназначенных для склейки предварительно отшлифованных поверхностях обеих половин вырезались полусферические выемки под заряд ВВ, а в вырезанные по диаметру проволоки (0,1 мм) канавки на одной из половин помещались проволочные датчики. После установки заряда половинки склеивались под давлением раствором органического стекла в дихлорэтане.

Осциллограммы массовых скоростей при взрыве вблизи свободной поверхности качественно не отличаются от осциллограмм, полученных при

взрыве заряда-камуфлета ( $\tau = \infty$ ) [2] и по этой причине не приводятся. Следует только отметить, что при малоуглубленном взрыве фаза возвратного движения на эпюрах массовых скоростей присутствует во всей области измерений, в то время

как при взрыве заряда-камуфлета возвратное движение наблюдается только в области квазиупругости, т. е. на расстояниях, превышающих размер зоны разрушения. Вероятно, это связано с тем, что в отличие от случая камуфлетного взрыва при малоуглубленном взрыве давление во взрывной полости быстро спадает из-за прорыва продуктов взрыва в атмосферу, а разрушенная среда не в состоянии сдерживать напряжения, образовавшиеся за счет вытеснения в упругой области.

Непосредственно из осциллограмм определялись: величина максимальной массовой скорости  $v_0$ , длительность положительной фазы движения  $\tau$  и время нарастания массовой скорости до максимальной  $\theta$ . Полученные экспериментальные данные, включая приведенные макси-

Таблица 1

Среда	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Скорость звука, м/с	Коэффициент Пуассона	Прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>
Тиосульфат натрия	1800	4500	0,282	310
Оргстекло	1080	2800	0,351	~1500

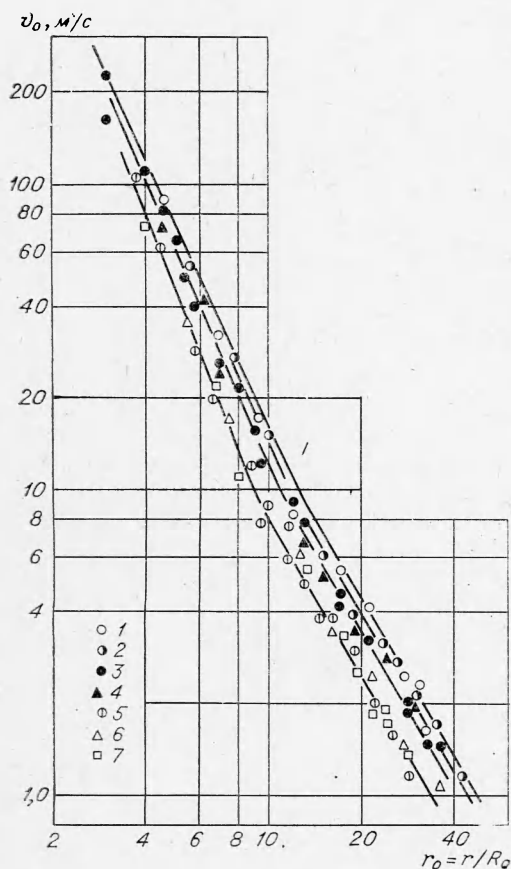


Рис. 2. Максимальные массовые скорости в тиосульфате натрия.

1 —  $\eta = 1$ ,  $R_0 = 0,5$ ; 2 —  $\eta = 1$ ,  $R_0 = 0,4$ ; 3 —  $\eta = 0$ ,  $R_0 = 0,5$ ; 4 —  $\eta = 0$ ,  $R_0 = 0,4$ ; 5 —  $\eta = -0,5$ ,  $R_0 = 0,5$ ; 6 —  $\eta = -0,5$ ,  $R_0 = 0,4$ ; 7 —  $\eta = -0,5$ ,  $R_0 = 0,75$ .

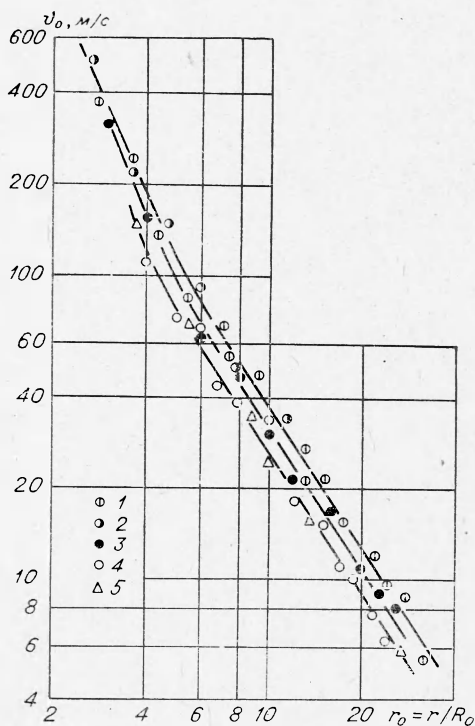


Рис. 3. Максимальные массовые скорости в оргстекле.

1 —  $\eta = \infty$ ,  $R_0 = 0,5$ ; 2 —  $\eta = \infty$ ,  $R_0 = 0,75$ ; 3 —  $\eta = 0$ ,  $R_0 = 0,5$ ; 4 —  $\eta = -0,5$ ,  $R_0 = 0,5$ ; 5 —  $\eta = -0,5$ ,  $R_0 = 0,4$ .

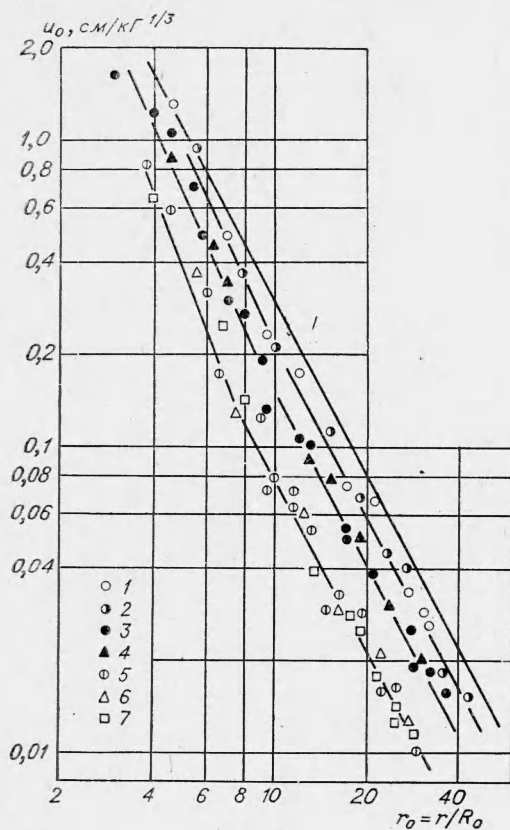


Рис. 4. Приведенные максимальные перемещения в тиосульфате натрия. (Обозначения см. на рис. 2.)

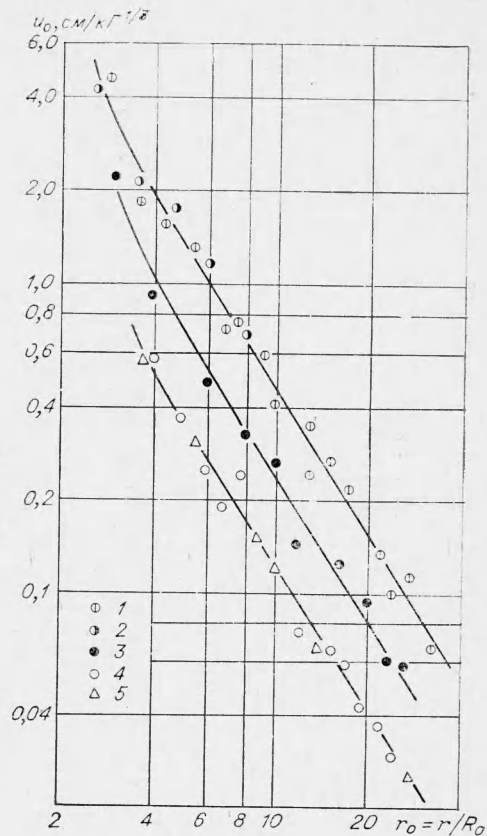


Рис. 5. Приведенные максимальные перемещения в оргстекле. (Обозначения см. на рис. 3.)

мальные перемещения  $u_0 = u/c^{1/3}$ , где  $u$  — максимальное смещение частиц среды,  $c$  — вес заряда ВВ, приведены на рис. 2—7 в зависимости от приведенного расстояния  $r_0 = r/R_0$ , где  $r$  — расстояние от центра взрыва. Параметры волны сжатия при взрыве заряда-камуфлета в тиосульфате натрия (кривые 1 на рис. 2, 4, 6) взяты из работы [2].

Приведенные данные показывают, что взрывы с одинаковым относительным заглублением  $\eta$  являются подобными, а с приближением центра взрыва к свободной поверхности энергия, переданная среде при взрыве, уменьшается.

На всех зависимостях как для одной, так и для другой среды рассматриваются две области по степени изменения величин. Наиболее отчетливо это видно на зависимостях

$$v_0 = \begin{cases} Ar_0^{-n} \text{ м/с,} & r_0 < r_*, \\ Br_0^{-m} \text{ м/с,} & r_0 > r_*. \end{cases}$$

Значения констант  $A$ ,  $B$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $r_*$  для различных значений параметра  $\eta$  приведены в табл. 2.

В работах [2, 3] величину  $r_*$  связывают с размером зоны необратимых деформаций (или разрушения), возникающей при взрыве. Помимо этого  $r_*$  определяет размер эффективного упругого источника, характеризующего действие взрыва на больших расстояниях [4]. Параметры

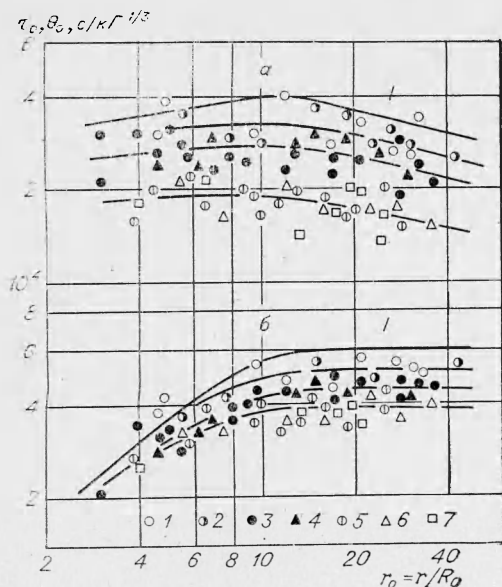


Рис. 6. Приведенные длительность волны  $\tau_0 = \tau/c^{1/3}$  (а) и время нарастания  $\theta = \theta/c^{1/3}$  (б) в тиосульфате натрия. (Обозначения см. на рис. 2.)

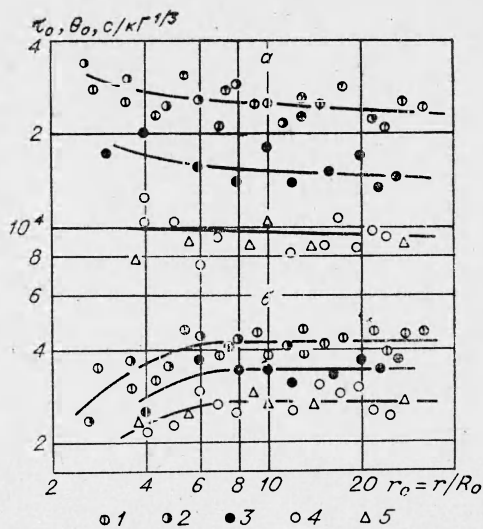


Рис. 7. Приведенные длительность волны (а) и время нарастания (б) в оргстекле. (Обозначения см. на рис. 3.)

волны сжатия на границе  $r_0 = r_*$  являются начальными параметрами упругого излучателя.

Из кривых рис. 6, 7 видно, что при уменьшении заглубления волна становится короче. Это приводит к увеличению степени затухания массовой скорости в области  $r_0 < r_*$ . При  $r_0 > r_*$  длительность волны не влияет на степени изменения величин, и они близки к своим значениям при  $\eta = \infty$ . Отметим, что под значением коэффициента  $A$  (см. табл. 2) для  $\eta = -0,5; 0$  и  $1$  не следует понимать массовую скорость на границе среда — заряд, так как закон изменения массовых скоростей при любом заглублении совпадает в некоторой области  $r_0 < a$ , где  $a$  — функция параметра  $\eta$ , с законом для случая  $\eta = \infty$ . Величина  $a$  определяется временем прихода возмущения от свободной поверхности к границе среда — продукты детонации и скоростью распространения волны сжатия в среде. Значения  $a$ , оцененные по зависимостям рис. 2, 3, приведены в табл. 2.

Полученные данные показывают, что свободная поверхность оказывает на длительность волны большее влияние, чем на максимальную массовую скорость. В табл. 3 приведена эффективность малозаглубленного взрыва по отношению к камуфлетному, рассчитанная по максимальной скорости —  $\psi_1$ , максимальным перемещениям —  $\psi_2$  и длительности волны —  $\psi_3$ . По аналогии с понятием тротилового эквивалента величины  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  можно назвать «камуфлетным эквивалентом» по соответствующим параметрам.

Рассмотрение малозаглубленного взрыва в двух средах,

Таблица 2

Параметры	Тиосульфат натрия			Оргстекло		
	$\eta$	$A$	$B$	$\eta$	$A$	$B$
$\eta$	-0,5	0	1	-0,5	0	—
$A$	2800	2700	2500	—	3500	3400
$B$	440	600	700	870	1050	1250
$n$	2,57	2,34	2,22	—	2,28	2,14
$m$	1,71	1,69	1,70	1,54	1,53	1,54
$r_*$	9,0	10,5	11,5	4,0	5,0	5,5
$a$	1,5	2	3	—	1,5	—

Таблица 3

$\eta$	Тиосульфат натрия			Оргстекло		
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_1$	$w_2$	$w_3$
-0,5	0,35	0,25	0,18	0,5	0,23	0,075
0	0,65	0,51	0,44	0,73	0,5	0,24
1	0,8	0,75	0,65	—	—	—

существенно отличающихся по прочности, позволяет качественно оценить влияние прочности на эффективность взрыва по различным параметрам. Из сопоставления приведенных значений  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  для тиосульфата натрия и органического стекла следует, что при увеличении прочности среды увели-

чивается эффективность взрыва по максимальной массовой скорости и уменьшается по длительности волны (для данного заглубления  $\eta$ ). Примечательно, что эффективность по максимальным перемещениям  $w_2$  получилась примерно одинаковой для обеих сред.

В заключение автор благодарит В. М. Цветкова за ценные замечания и обсуждение полученных результатов.

*Поступила в редакцию  
10/XII 1973*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Спивак. ФГВ, 1973, 9, 2.
2. А. А. Спивак, В. М. Цветков. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1973, 5.
3. Е. И. Шемякин. ПМТФ, 1963, 5.
4. Механический эффект подземного взрыва. Под ред. акад. М. А. Садовского. М., «Недра», 1971.