

Чтобы как-то предотвратить дальнейшие самопроизвольные взрывы, все разбросанные кристаллы (~3 г) собрали и высыпали в литровый стакан с холодной водой. При сборе разбросанных по лаборатории кристаллов происходили отдельные взрывы, когда на кристаллы, попавшие на покрытый линолеумом пол, случайно наступали.

Через 1—2 мин после помещения кристаллов в воду послышались отдельные слабые щелчки, а затем произошел сильный взрыв. Осколками стекла была пробита рядом стоявшая стеклянная посуда. Кафельная плитка, на которой стоял стакан, растрескалась. Отметим, что кристаллы ГМТД, оставшиеся в маточнике в течение двух часов после извлечения нитей, не взорвались. Затем сосуд Дьюара с маточником и кристаллами был уничтожен.

В настоящее время трудно объяснить причину спонтанного взрыва кристаллов ГМТД не только в воде, но и на воздухе. Однако можно предположить, что взрывы происходили из-за растрескивания длительное время находившихся в маточнике кристаллов под воздействием внутренних напряжений, возникших в них при удалении остатков легколетучего растворителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Miles F. D. J. Chem. Soc., 1931, 2532.
2. Garner W. E., Gomm A. S. J. Chem. Soc., 1931, 2133.
3. Kast H., Haid A. Z. angew. Chem., 1924, 38, 43.
4. Hawkes A. S., Winkler C. A. Canad. J. Res., 1947, 25, 548.
5. Боуден Ф., Иоффе А. Быстрые реакции в твердых веществах.— М.: ИЛ, 1962.
6. Багал Л. И. Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ.— М.: Машиностроение, 1975.

Поступила в редакцию 10/III 1988

УДК 622.235.5

О ХАРАКТЕРЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЗАРЯДОВ ВЫБРОСА ПРИ ИХ НЕОДНОВРЕМЕННОМ ВЗРЫВАНИИ¹

В. В. Адушкин, Р. З. Камалян, К. Д. Королев
(Краснодар)

При необходимости получения протяженных и глубоких выемок часто используется цепочка расположенных в ряд сосредоточенных зарядов выброса, инициирование которых для участков длиной порядка 500—600 м осуществляется с одного конца. Несмотря на то что в данной схеме инициирования каждый последующий заряд подрывается с некоторым замедлением по отношению к предыдущему, выемка оказывается достаточно симметричной. В случае применения двух и более рядов цепочек сосредоточенных зарядов очень часто отмечается отклонение, иногда существенное, от симметрии по отношению к оси выемки. Исследование крупномасштабных взрывов позволило установить, что несимметричность выемки связана при прочих относительно равных условиях с неодновременностью взрывания взаимодействующих зарядов выброса.

Крупномасштабные взрывы были приурочены к строительству канала АБМК-3 в Средней Азии. Для обеспечения проектной ширины по дну, равной 14 м, использовалась двухрядная схема расположения сосредоточенных зарядов выброса. Расстояние между зарядами определя-

¹ Работа доложена на конференции по проблемам применения энергии взрыва в народном хозяйстве (Киев, 1987).

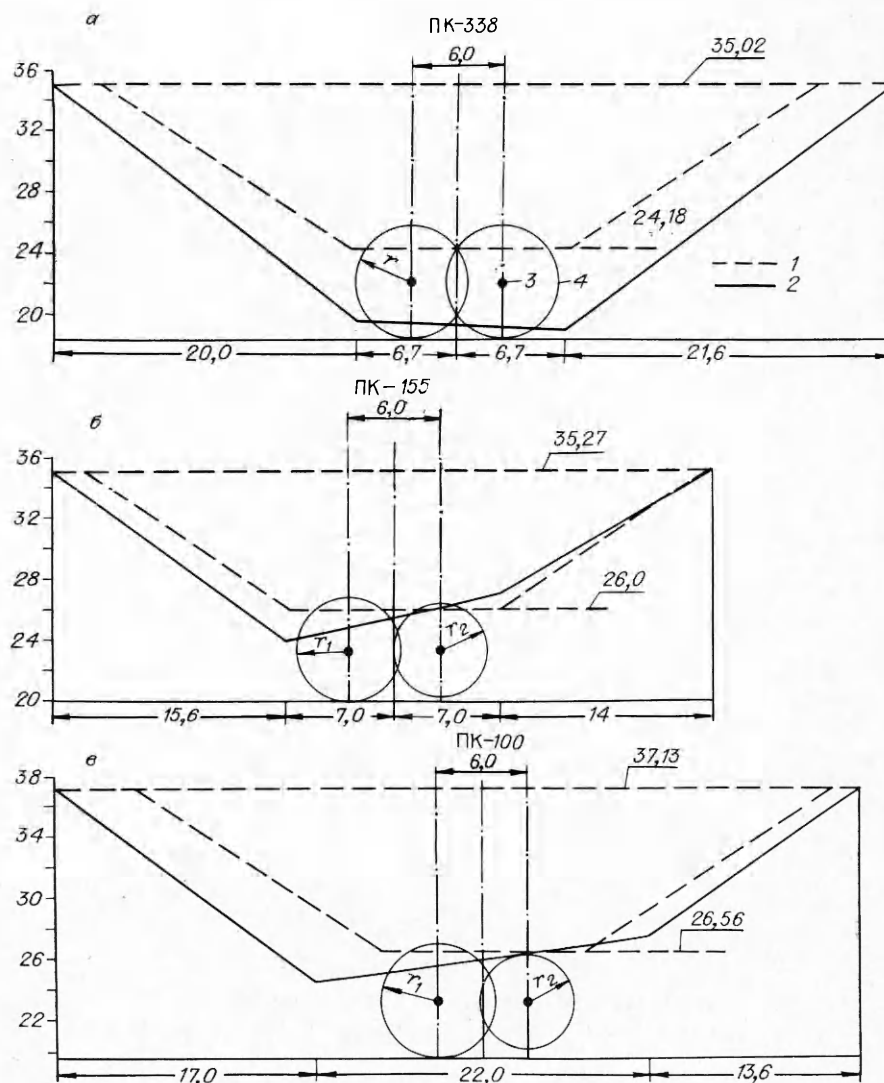


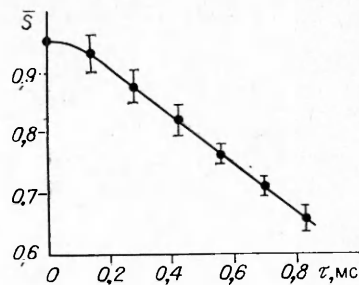
Рис. 1. Результаты взрывов на выброс сосредоточенными зарядами с различными временами замедлений.

1 — проектный контур выемки; 2 — фактический профиль; 3 — центры масс зарядов; 4 — полости. а) масса взаимодействующего заряда $Q = 8138$ кг, время замедления $\tau \approx 0$ мс, отношение меньшего значения полусечения выемки S_2 к большему S_1 равно 0,93, т. е. $\bar{S} = S_2/S_1 = 0,93$; б) $Q = 6342$ кг, $\tau = 0,7$ мс, $\bar{S} = 0,7$; в) $Q = 7686$ кг, $\tau = 1,5$ мс, $\bar{S} = 0,41$.

лось из условия их эффективного взаимодействия [1]. Величины замедлений задавались так, чтобы исключить возможность возникновения отказов зарядов при их одновременном взрывании. Замедление осуществлялось за счет разности длин детонирующих шнуров. После взрыва проводилась инструментальная съемка поперечных профилей, характерные результаты которых представлены на рис. 1. Во всех экспериментах расстояние между зарядами при различных их массах и глубинах заложения было неизменным и равным 6 м.

Анализ полученных результатов показывает, что несимметричность выемки с увеличением времени замедления τ возрастает, что достаточно наглядно демонстрируется зависимостью $\bar{S} = f(\tau)$, приведенной на рис. 2. Очевидно, что такой результат при относительно спокойном рельефе дневной поверхности и равных глубинах заложения зарядов связан с характером направленности действия заряда, подорванного с замедлением, причем эта направленность зависит от разности давлений Δp продуктов детонации во взрывных полостях, которая тем выше, чем больше

Рис. 2. График зависимости $\bar{S}(\tau)$.



величина замедления. Если считать процесс расширения газов адиабатическим, то

$$\Delta p = p_n \left[\left(\frac{r_0}{r_2} \right)^{3k} - \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^{3k} \right],$$

где $p_n = \rho_{\text{ВВ}} D^2 / 8$ — начальное давление продуктов детонации; $\rho_{\text{ВВ}}$ — плотность ВВ; D — скорость детонации ВВ; k — показатель политропы; r_1 и r_2 — соответственно радиусы взрывных полостей, образованных зарядами, подорванных без замедлений и с замедлением.

Для проведения оценочных расчетов по определению значений радиусов взрывных полостей в зависимости от времени их развития можно воспользоваться приближенным методом, основанным на применении модели идеальной несжимаемой жидкости [2]. Пусть в такой среде на глубине h_0 в момент времени $t = 0$ произошла мгновенная детонация заряда ВВ сферической формы радиуса r_0 . В области между взрывной полостью и ударным фронтом движение среды описывается уравнениями неразрывности и движения, имеющими для сферической симметрии вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \rho}{\partial r} + \rho \frac{\partial v}{\partial r} + 2 \frac{\rho v}{r} = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{\partial p}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

где ρ — плотность среды; v — радиальная скорость движения; p — давление в полости.

Интегрируя и преобразовывая выражения (1) и (2) при соответствующих граничных условиях, можно получить следующее дифференциальное уравнение [2]:

$$\int_{r_0}^{r_m} p(r) \cdot 4\pi r^2 dr = 2\pi \rho r^3 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \int_{r_0}^{r_m} p_* \cdot 4\pi r^2 dr. \quad (3)$$

Левая часть (3) — работа сил давления газов — продуктов детонации, правая — сумма кинетической энергии и работа против литостатического (гидростатического) давления, т. е. (3) выражает закон сохранения энергии. Представим левую часть в виде

$$\int_{r_0}^{r_m} p(r) \cdot 4\pi r^2 dr = \alpha E_0, \quad (4)$$

где αE_0 — энергия, оставшаяся в продуктах детонации после излучения ударной волны.

Пренебрегая работой сил против литостатического давления, уравнение (3) с учетом (4) запишем так:

$$2\pi \rho r^3 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = \alpha E_0. \quad (5)$$

Интегрируя (5), получим

$$r = \left[r_0^{5/2} + 2,5 \left(\frac{\alpha E_0}{2\pi \rho} \right)^{1/2} t \right]^{2/5}. \quad (6)$$

Время симметричного расширения взрывной полости равно $t_2 = t_1 - \tau$, t_1 — максимальное время расширения взрывной полости, соответствующее времени ее симметричного развития.

Пикеты	t_1, c	t_2, c	$r_1, м$	$r_2, м$
ПК-338	—	—	3,66	3,66
ПК-155	0,0083	0,0076	3,4	3,2
ПК-100	0,0089	0,0074	3,6	3,3

Максимальный радиус взрывной полости, соответствующий времени ее симметричного развития, можно определить по формуле [1]

$$r_m = [2,55K_n Q/4\pi]^{1/3}, \quad (7)$$

где K_n — показатель простреливаемости грунтов; Q — масса взаимодействующего заряда выброса. С учетом (7) из (6) определим

$$t_1 = \frac{\left[\left(\sqrt[3]{2,55K_n Q/4\pi} \right)^{5/2} - r_0^{5/2} \right] (2\pi\rho)^{1/2}}{2,5 (\alpha E_0)^{1/2}}.$$

Исходные данные и некоторые результаты расчетов приведены в таблице. Для всех участков $K_n \approx 0,03 \text{ м}^3/\text{кг}$. В качестве ВВ на опытных участках использовался граммнит 79/21, характеристики которого брались из [3], $\alpha = 0,41$. Расчетные контуры взрывных полостей показаны на соответствующих сечениях выемок рис. 1.

Таким образом, полученные соотношения позволяют по заданному значению τ оценить радиусы взрывных полостей r_1 и r_2 и разность давлений Δp . Следует отметить, что с практической точки зрения знание закономерностей взаимодействия зарядов выброса при их неодновременном взрывании полезно при строительстве выемок, имеющих закругления, где для получения нужного профиля масса внутреннего заряда завышается.

Авторы благодарят А. С. Абдуллаева, В. С. Малкова и Я. И. Фердмана за большую помощь при проведении опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов О. А., Григорян С. С., Камалян Р. З. ФГВ, 1985, 21, 4.
2. Кузнецов В. М. Математические модели взрывного дела. — Новосибирск: Наука, 1977.
3. Светлов Б. Я., Яременко И. Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. — М.: Недра, 1973.

Поступила в редакцию 24/IV 1988